

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES
FILIERE : Génie Civil
OPTION : Matériaux

N° :

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

**Par : - DHALSI Mohammed
-BENHAMIMID Walid**

Intitulé

**ELABORATION D'UN SABLE NORMAL POUR LA CLASSIFICATION
DES CIMENTS AXEE SUR LES MATERIAUX LOCAUX**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr: MAZA Mekki	Université de M'sila	Président
Pr: BEDDAR Miloud	Université de M'sila	Rapporteur
Melle: DJEBRI Noura	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017

Dédicaces

Ce travail est dédié :

A l'âme de mon très cher père

A ma très chère mère

A ma très chère femme

A mes chers frères et sœurs

A tous mes amis

E à tous ceux qui me sont chers.

BENHAMIMID Walid.

Dédicaces

Ce travail est dédié :

À mon très cher père

À ma très chère mère

À mes chers frères et sœurs

À tous mes amis

Et à tous ceux qui me sont chers.

Mohamed DHALSI

Remerciements :

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la volonté et le courage qui nous ont permis de réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier prof BEDDAR Miloud pour sa disponibilité, et pour ses précieux conseils tout longs de ce travail.

Bien entendu, nous tenons à remercions nos proches pour leurs patience, tout au long de nos études.

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de notre travail, surtout: DJERDALI Layachi.

Enfin, nous remercions tout particulièrement ceux que nous avons oubliés dans ces remerciements, en les priant de bien vouloir nous excusés pour cet oubli.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre I : Etude bibliographique	
I.1.Introduction	3
I.2. Les sables	3
I.2.1.Généralités	3
I.2.2.Production de sable concassé	3
I.2.3.Mécanismes de formation des dunes	4
I.2.4 Différentes formes des dunes	5
I.2.5.Utilisation des sables	7
I.2.6. Propriétés	7
I.2.7.Classification des sables	8
I.2.7.1.Selon la provenance	8
I.2.7.2.Selon la granularité	10
I.2.7.3.Selon la propreté et la teneur en fines	10
I.2.7.4.Selon La nature minéralogique	11
I.2.8. Caractéristiques des sables	11
I.2.8. 1.Caractéristiques géométriques	11
I.2.8. 2.Caractéristiques physico-chimiques	13
I.2.8. 3.Caractéristiques physiques et mécaniques	14
I.2.8. 4.Caractéristiques chimiques	15
I.2.9. Traitement des sables	16
I.2.9 .1.Méthode de lavage	16
I.2.9 .2.Méthode ventilateur	16
I.3.Ciment	16
I.3.1Généralités	16
I.3.2Quelques définitions sur les constituants de base	16
I.3.3.Principe de fabrication du ciment	19
I.3.4 Classification des ciments courants	25
I.3.4 .1.Classification suivant la composition	26
I.3.4 .2Classification suivant les résistances a la compression	26
I.3.5. Propriétés des ciments	27

Liste des tableaux

- Tableau. I.1: Composition chimique du clinker.
- Tableau. I.2: Compositions minéralogiques des clinkers.
- Tableau .I.3 : Résistance à la compression des ciments.
- Tableau II.1. Caractéristiques physiques du sable normalisé
- Tableau II.2 : Masse spécifique des différents sables
- Tableau. II.3 : Masse volumique des différents sables utilisés à l'état lâche
- Tableau II.4 : Masse volumique des différents sables utilisés à l'état compact.
- Tableau II.5 : La compacité des sables.
- Tableau II.6 : Porosité des sables.
- Tableau II.7 : Indice de vide des sables.
- Tableau II.8 : Équivalent de sable pour différent des sables
- Tableau II.9 :L'analyse granulométrie de sable A.
- Tableau II.10 :L'analyse granulométrie de sable B.
- Tableau II.11 :L'analyse granulométrie de sable C
- Tableau II.12 :L'analyse granulométrie de sable D
- Tableau II.13: L'analyse granulométrie de sable E.
- Tableau II.14: L'analyse granulométrie de sable F
- Tableau II .15 : Classement de sable.
- Tableau II .16 : Module de finesse pour différent des sables.
- Tableau II.17 : Teneur en eau du sable A.
- Tableau II.18 : Teneur en eau du sable B.
- Tableau II.19 : Teneur en eau du sable C
- Tableau II.20 : Teneur en eau du sable D
- Tableau II.21 : Teneur en eau du sable E
- Tableau II.22 : Teneur en eau du sable F
- Tableau II.23 : Degré d'absorption du sable A.
- Tableau II.24 : Degré d'absorption du sable B.
- Tableau II.25 : Degré d'absorption du sable C.
- Tableau II.26 : Degré d'absorption du sable D.
- Tableau II.27 : Degré d'absorption du sable E.
- Tableau II.28 : Degré d'absorption du sable F.
- Tableau II.29 : Analyse chimique de sable normalisé.

Tableau II.30 : Analyse chimique pour différent des sables.

Tableau II.31 : Analyses chimiques des ciments

Tableau II. 32 : Analyses minéralogiques DRX

Tableau II.33 : Caractéristique physique du ciment

Tableau II.34 : Pourcentage E nécessaire pour hydratation de ciment.

Tableau II.35 : Temps de pris.

Tableau II.36 : Chaleur d'hydratation.

Tableau III.1 : La masse volumique des différents mortiers

Tableau III.2:La résistance à la compression et la traction des mortiers B et témoin par les différents types de ciment.

Tableau III. 3 : La résistance à la compression et la traction des mortiers D et témoin par les différents types de ciment.

Tableau III.4 : La résistance à la compression et la traction des mortiers E et témoin par les différents types de ciment.

Tableau III.5 : La résistance à la compression et la traction des mortiers F et témoin par les différents types de ciment.

Liste des figures

- Figure .1.1: Dune de Barkhane.
Figure .I. 2: Dune Parabolique.
Figure .I.3: Dunes en étoile.
Figure .I.4: Dune transversale.
Figure .I.5: Dune longitudinale.
Figure .I.6: Sable roulé (naturel).
Figure .I.7: Sable concassé.
Figure .I.8: Sable artificielle.
Figure .I.9 : exemple sur la granulométrie de sable.
Figure .I.10: Géométries particulières des sables.
Figure. I.11: Différentes géométries des inclusions.
Figure. I.12 : Essai « équivalent de sable ».
Figure. I.13 : L'extraction.
Figure .I.14: préparation des matières première.
Figure .I.15: concassage de la roche calcaire.
Figure .I.16: Pré-homogénéisation du cru.
Figure .I.17: Préchauffage de l'argile et le calcaire.
Figure .I.18 : Cuisson pour obtenir le clinker.
Figure .I.19 : Broyeur de clinker.
Figure .I.20 : Silos pour stockage le ciment.
Figure II .1 : Mode de mesure de la masse volumique.
Figure II.2 : La courbe granulométrique de sable A.
Figure II.3 : la courbe granulométrique de sable B.
Figure II.4: La courbe granulométrique de sable C.
Figure II.5 : La courbe granulométrique de sable D.
Figure II.6 : La courbe granulométrique de sable E.
Figure II.7 : La courbe granulométrique de sable F.
Figure .II.8 : Densimètre manuel.
Figure .II.9. Schéma qui expliqué l'appareille de Vicat.
Figure .II.10. Appareil de Vicat.
Figure. II.11 : La stabilisation de défirrent des ciments.
Figure II.12 : Les moules des mortiers.
Figure. II.13 : Table vibrante.
Figure. II.14. Malaxeur.
Figure. II.15: Armoire d'humidité.
Figure. III.1 : Schéma qui explique la méthode de travaille.
Figure. III.2 : La masse volumique des différents mortiers.
Figure. III.3 : Éprouvette de la résistance à la traction par flexion et à la compression.
Figure.III.4 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment CHMIL.
Figure.III.5 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment MATINE.
Figure.III.6 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment MOKAOUEM.
Figure.III.7 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment SARIE.
Figure.III.8 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment CRS.
Figure.III.9 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment CHMIL.
Figure.III.10 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment MATINE.
Figure.III.11 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment CRS.
Figure.III.12 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment SARIE.

- Figure.III.13 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment CRS.
- Figure.III.14 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment CHAMIL.
- Figure.III.15 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment MATINE.
- Figure.III.16 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment MOKAOUM.
- Figure.III.17 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment SARIE.
- Figure.III.18 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment CRS.
- Figure.III.19 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment CHAMIL.
- Figure.III.20 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment MATINE.
- Figure.III.21 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment MOKAOUM.
- Figure.III.22 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment SARIE.
- Figure.III.23 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment CRS.

- Figure II .1 : Méthode de l'éprouvette.
Figure II.1 : la courbe granulométrique de sable A
Figure II.2 : la courbe granulométrique de sable B.
Figure II.3 : la courbe granulométrique de sable C.
Figure II.4 : la courbe granulométrique de sable D
Figure II.5 : la courbe granulométrique de sable E
Figure II.6 : la courbe granulométrique de sable F
FigureII.1 : Densimètre manuel
FigureII 01 : Appareil de vicat avec la sonde de consiste
Figure 01 : Appareil de Vicat
Figure II.17 : la stabilisation défirent des ciments
Figure III.1a : Les moules des mortiers.
Figure III.1 b: Malaxeur
Figure III.2 : Table vibrante
Figure III.3 : Armoire d'humidité

FigureIII.1 : la masse volumique des différents mortiers

Figure III.2 : schémas qui expliquent la résistance à la traction par flexion et à la compression.

Fig.III.1 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment CHMIL.

Fig.III.2 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment MATINE.

Fig.III.3 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment MOKAOUEM

Fig.III.4 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment SARIE.

Fig.III.5 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment CRS.

Fig.III.6 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment CHMIL

Fig.III.7 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment MATINE.

Fig.III.8 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment CRS.

Fig.III.9 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment SARIE.

Fig.III.10 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment CRS.

Fig.III.11 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment CAMIL.

Fig.III.11 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment MATINE.

Fig.III.12 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment MOKAOUM.

Fig.III.13 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment SARIE.

Fig.III.14 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment CRS.

Fig.III.15 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment CAMIL.

Fig.III.16 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment MATINE.

Fig.III.17 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment MOKAOUM.

Fig.III.18 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment SARIE.

Fig.III.19 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment CRS.

Page de Garde (Originale)

Page de Garde (Photocopiée)

Remerciements et dédicaces

Sommaire (1-2 pages)

Liste des tableaux (1-2 pages)

Liste des figures (1-2 pages)

ملخص (1page)

Résumé (1page)

Abstract (1page)

Introduction générale (Objectifs + présentation du travail) 2-3 pages

Chapitre 1 (Au centre - taille 16 - Type Times New Roman - Gras)

I- (Aligner à gauche- taille 12 - Type Times New Roman- Gras)

I-1- (Aligner à gauche- taille 12 - Type Times New Roman- Gras)

I-1-1- (Aligner à gauche- taille 12 - Type Times New Roman- Gras)

a- (Aligner à gauche- taille 12 - Type Times New Roman- Gras)

* (Aligner à gauche- taille 12 - Type Times New Roman- Gras+Italique)

Conclusion

Bibliographie

Annexe

re .I.10: Géométries particulières des sables.

Figure. I.11: Différentes géométries des inclusions.

Figure. I.12: Essai « équivalent de sable » .

Figure. I.13 : L'extraction.

Figure .I.14: préparation des matières première.

Figure .I.15: concassage de la roche calcaire.

Figure .I.16: Pré-homogénéisation du cru.

Figure .I.17: Préchauffage de l'argile et le calcaire.

Figure .I.18 : Cuisson pour obtenir le clinker.

Figure .I.19 : Broyeur de clinker.

Figure .I.20 : Silos pour stockage le ciment.

Figure II .1 : Mode de mesure de la masse volumique.

Figure II.2 : La courbe granulométrique de sable A.

Figure II.3 : la courbe granulométrique de sable B.

Figure II.4: La courbe granulométrique de sable C.

Figure II.5 : La courbe granulométrique de sable D.

Figure II.6 : La courbe granulométrique de sable E.

Figure II.7 : La courbe granulométrique de sable F.

Figure .II.8 : Densimètre manuel.

Figure .II.9. Schéma qui expliqué l'appareille de Vicat.

Figure .II.10. Appareil de Vicat.

Figure. II.11 : La stabilisation de défirrent des ciments.

Figure II.12 : Les moules des mortiers.

Figure. II.13 : Table vibrante.

Figure. II.14. Malaxeur.

Figure. II.15: Armoire d'humidité.

Figure. III.1 : Schéma qui explique la méthode de travaille.

Figure. III.2 : La masse volumique des différents mortiers.

Figure. III.3 : Éprouvette de la résistance à la traction par flexion et à la compression.

Figure.III.4 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment CHMIL.

Figure.III.5 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment MATINE.

Figure.III.6 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment MOKAOUEM.

Figure.III.7 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment SARIE.

Figure.III.8 : La résistance à la compression des mortiers A et témoin par ciment CRS.

Figure.III.9 : La résistance à la compression des mortiers B et témoin par ciment CHMIL.

Figure.III.10 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment MATINE.

Figure.III.11 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment CRS.

Figure.III.12 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment SARIE.

Figure.III.13 : La résistance à la compression des mortiers D et témoin par ciment CRS.

Figure.III.14 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment CHAMIL.

Figure.III.15 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment MATINE.

Figure.III.16 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment MOKAOUM.

Figure.III.17 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment SARIE.

Figure.III.18 : La résistance à la compression des mortiers E et témoin par ciment CRS.

Figure.III.19 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment CHAMIL.

Figure.III.20 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment MATINE.

Figure.III.21 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment MOKAOUM.

Figure.III.22 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment SARIE.

Figure.III.23 : La résistance à la compression des mortiers F et témoin par ciment CRS.

Liste des Acronymes et Symboles

Acronymes

M_f	Module de finesse.
ES	Équivalent de sable.
VB	Essai au bleu de méthylène.
Ab	Le coefficient d'absorption d'eau.
NR	Non réactifs.
PR	Potentiellement réactifs.
PRP	Potentiellement réactifs à effet de pessimisme.
M	Masse
V	Volume
H	Hauteur
C	Compacité
P	Porosité
I	Indice de vide
E.S.P	L'équivalent de sable piston (mesure au piston).
E.S.V	L'équivalent de sable visuel.
LOI	perte au feu (Loss on ignition).
DRX	L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X .
SSB	Surface Spécifique.
ρ_{abs}	Masse volumique spécifique (absolue).
ρ_{app}	Masse volumique apparente.
Sable A	Sable de dune DJAMAA de la région d'Oued Soufe.
Sable B	Sable de plage TICHY de la région de Bejaïa.
Sable C	Sable concassé de la carrière M'CIF (Concasseur COSSIDER).
Sable D	Sable de dune TILLOULINE de la région d'Adrar.
Sable E	Sable élaboré.
Sable F	Sable de dune TAMSSA de la région de Boussaâda.
Sable N	Sable Normalisé.

Symboles

SiO ₂	Dioxyde de silicium (Silice)
SO ₃	Sulfates
CaO	Chaux
Al ₂ O ₃	L'alumine
Fe ₂ O ₃	L'oxyde de fer
CaSO ₄ ·2H ₂ O	Gypse
C ₃ S ((CaO) ₃ (SiO ₂))	Alite ou silicate tricalcite.
C ₃ A((CaO) ₃ (Al ₂ O ₃))	Aluminate ou aluminate tricalcite.
C ₂ S ((CaO) ₂ (SiO ₂))	Belite, silicate dicalcite ou silicate de dicalcium.
C ₄ AF ((CaO) ₄ (Al ₂ O ₃)(Fe ₂ O ₃))	Ferrite ou aluminoferrite ou brownmillerite ou ferro-aluminate tétracalcique
CaCO ₃	Calcaire (limestone)
Ca(OH) ₂	Portlandite
MgO	Oxyde de magnésium
SO ₃	Trioxyde de soufre

K_2O	L'oxyde de potassium
Na_2O	Oxyde de sodium
TiO_2	Dioxyde de titane
Cl	Chlore
P_2O_5	Anhydre phosphorique

Introduction Générale

Introduction générale

1- INTRODUCTION:

Pays en voie de développement, L'Algérie connaît une forte expansion démographique et se trouve dans la nécessité de construire des habitats pour loger ses populations ainsi que des infrastructures (barrages, digues, canaux, voies ferrées, routes...etc.) Pour soutenir son développement économique.

Pour atteindre cet objectif, l'Algérie, pays magrébin de l'Afrique du nord, à l'instar des autres pays de cette région, importe chaque année des quantités de matériaux utilisés dans tous les domaines notamment dans celui de la construction: ciments, acier, céramique, éléments préfabriqués,... etc.

Outre son coût élevé voire son inadaptation, l'achat de matériaux de construction à l'extérieur pose souvent le problème des ruptures de stocks avec ses conséquences économiques. En effet, l'importation de matériaux de construction correspond à des sorties de devises qui seraient un manque à gagner pour l'Algérie ou tout autre pays ayant les mêmes conditions géologiques.

Pour la construction de ses infrastructures, L'Algérie consomme annuellement des quantités de liants hydrauliques. La qualité de ces ciments est testée conformément aux normes algérienne qui sont basées sur les normes françaises et européennes N F P 15-403 [1] et CEN EN 196 1 [2]. Pour cela, un sable normalisé, le sable de Leucate est importé de France, alors que paradoxalement, ce pays magrébin possède une grande richesse en matériaux de texture sableuse qui recouvre 70 % du territoire national.

Face à l'importance des ressources en granulats de toutes sortes, il nous semble judicieux de définir un sable normal Algérien qui puisse être confectionné économiquement à partir des matériaux locaux les plus utilisés dans la construction et le génie civil.

2- L'objectif :

L'objectif de ce travail est de proposer un sable de substitution au sable normal de Leucate pour la détermination des résistances mécaniques des ciments [3]. Ce dernier est défini par la norme AFNOR NF P 15-403, remplacée au début des années 90 par la norme européenne CEN EN 196 1. Donc, il s'agira au plan pratique de mettre au point des formulations de sable qui permettent de classer correctement les ciments conformément à la norme CEN EN 196 1. En tant que pays africain, notre démarche consiste à respecter scrupuleusement l'esprit des normes européennes en les adaptant au contexte Algérie, l'idée de ce projet est une initiative qui demande la contribution du domaine des cimenteries publiques ainsi que la réalisation de plusieurs travaux afin d'arriver à concrétiser ce travail et dire que l'Algérie a son propre sable normalisé.

Structure du mémoire :

Le mémoire est divisé en trois chapitres:

Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur les plusieurs types des sables à savoir leur classification d'après la provenance, la granularité et la nature minéralogique ainsi que les caractéristiques de ces sables.

Ce chapitre se termine par une notation générale sur le ciment.

Le deuxième chapitre présente l'identification des matériaux utilisés et essentiellement les différents types de sable étudiés pour le choix de ceux qui se rapprochent du sable normal.

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus et les essais réalisés sur le ciment avec le sable préparé comme sable normal.

Finalement, ce mémoire se termine par une conclusion générale et un prospectus pour les futurs travaux.

Chapitre

1

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Etude bibliographique

I.1.Introduction :

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les sables existés en Algérie afin de ramasser le maximum des informations concernant ce matériau. Le sable, sans doute, est le matériau le moins cher, dans la fabrication de béton, mais il est le plus important pour donner au béton une caractéristique performante.

Il remplit avec le ciment et l'eau tous les vides entre les grains de gravier, décidant ainsi la structure compacte du béton, d'autre part de son coût de revient, puisque il est toujours moins cher que le ciment.

I.2. Les sables :

I.2.1.Généralités :

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. Les sables proviennent de la désagrégation des roches qui constituent l'écorce terrestre; suivant leur composition, ils sont blancs, jaunes, gris ou rougeâtres. On peut encore classer les sables d'après leur origine et distinguer les sables de carrière, les sables de mer et les sables de rivière. Le terrain dans lequel le sable grossier domine, manque d'homogénéité, sa trop grande perméabilité ne lui permet pas de retenir les engrais solubles, qui sont entraînés par les eaux avant d'avoir produit leur effet, amenant, en outre, l'assèchement rapide du sol.

Des amendements sont nécessaires pour corriger les défauts des sols sableux; l'apport de matière argileuse donne de la cohésion aux terrains qui en manquent, mais le fumier de ferme, en augmentant l'humus, est dans tous les cas le meilleur des traitements: il apporte au sable grossier l'agglomérant dont il a besoin et au sable fin l'allègement et l'aération qui lui font défaut [1].

I.2.2.Production de sable concassé :

La production des granulats à partir de roches meubles ou massives, nécessite les principales étapes suivantes.

- **Le décapage** : consiste à enlever les terres situées au-dessus de la zone à exploiter.
- **L'extraction** : s'effectue dans des carrières. Les techniques mises en œuvre dépendent du type de gisement :

– gisement de granulats alluvionnaires exploités en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen par exemple de drague) – gisement compact de

roches massives qui nécessite l'emploi d'explosif, l'abattage et la fragmentation des blocs.

- **Le traitement:** fait suite à l'extraction des matériaux, qui sont concassés et broyés (au moyen d'appareils travaillant par chocs ou écrasement) afin de réduire leur taille, criblés (au moyen de cribles vibrants) pour obtenir des granulats de tailles différentes, puis lavés (afin d'éliminer les éléments de pollution et les fines) ou dépoussiérés et enfin stockés.

Les opérations de traitement permettent d'obtenir des granulats répondant à des spécifications précises quant à leurs caractéristiques géométriques et physiques pour des usages particuliers.

I.2.3. Mécanismes de formation des dunes :

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 opposé. Une dune est une accumulation de sable formée par le vent, et l'action des vagues qui est recouverte de végétation. Les dunes sont des structures dynamiques qui changent de formes constamment.

Pour la formation d'une dune il faut y avoir d'obstacles, tels que les rochers ou les arbres, qui réduisent la vitesse du vent et permettent le dépôt du sable transporté selon les étapes suivantes :

- Chute des particules de sable devant l'obstacle après le choc, ou on assiste en deuxième étape à l'accumulation de ces particules.
- Courant d'air se divise en deux bras passant de part et d'autre de l'obstacle où le sable s'accumule autour de cet obstacle.
- Augmente la taille des bras jusqu'à ce qu'ils rencontrent deux composantes de teinte de sable.

Et continuer à croître dans les dunes adsorption de plus de granules de sable que la taille jusqu'à la dune. Pour arrêter la scène, puis de plus en plus et quand il décrit la dune qu'il était arrivé au stade de la maturité, ni peut attirer plus de grains. [3]

I.2.4 Différentes formes des dunes:

a) Dune de barkhane:

Ces dunes sont des dunes d'accumulation, édifiées en terrain plat, mobiles, en forme de croissant dont la convexité est tournée au vent. Elles peuvent atteindre une taille de 300 m et s'assembler pour former des formes complexes. (Fig.I.1) ;[3]

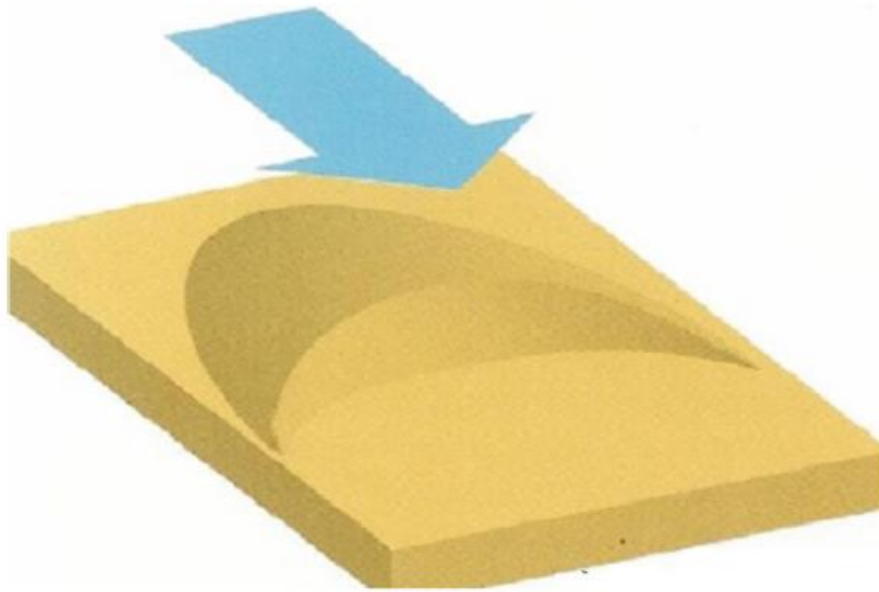


Fig.I.1: Dune de barkhane.[3]

b)La dune parabolique :

Une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation (Fig.I.2). Sa disposition par rapport à la direction du vent est donc inverse de celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée ;[3]

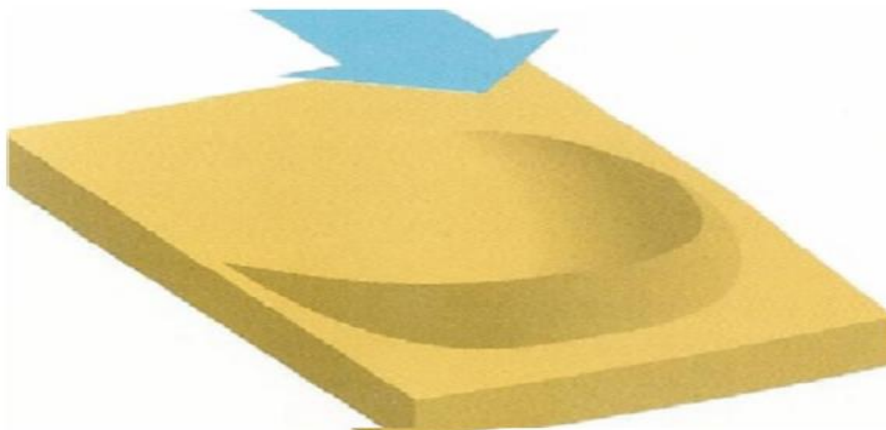


Fig. I.2: Dune parabolique[3].

c) Les dunes en étoile :

Immobilisées se rencontrent dans les clairières des forêts de pins et seraient dues à un déséquilibre dans le système des vents. (fig.I.3)[3]

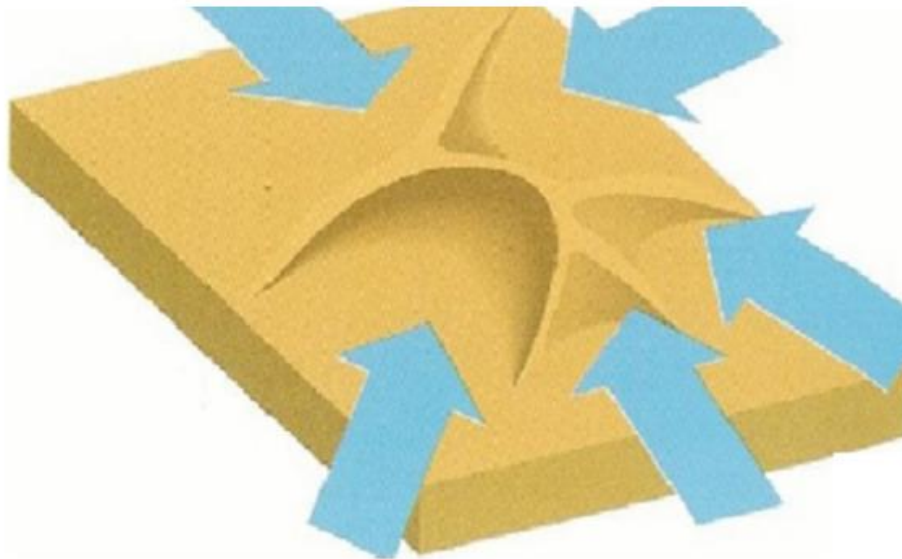


Fig.I.3: Dunes en étoile[3].

d) Les dunes transversales :

Mobiles rectilignes, perpendiculaires la direction du vent: la dune du Pilat.[3]

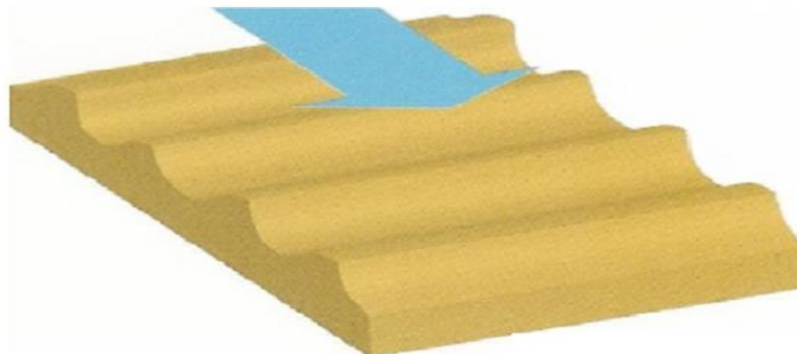


Fig.I.4: Dunes transversale[3].

e) Les dunes longitudinales :

Allongées dans le sens du vent. Elles peuvent apparaître si le vent change de direction au cours de l'année. Plus précisément elles peuvent apparaître si le vent possède deux directions privilégiées. La dune est alors étirée dans le sens du vent moyen. On parle aussi du «Seif» dunes. Leur dynamique est bien plus complexe que pour les barkhanes puisque leur forme évolue beaucoup au cours du temps.[3]

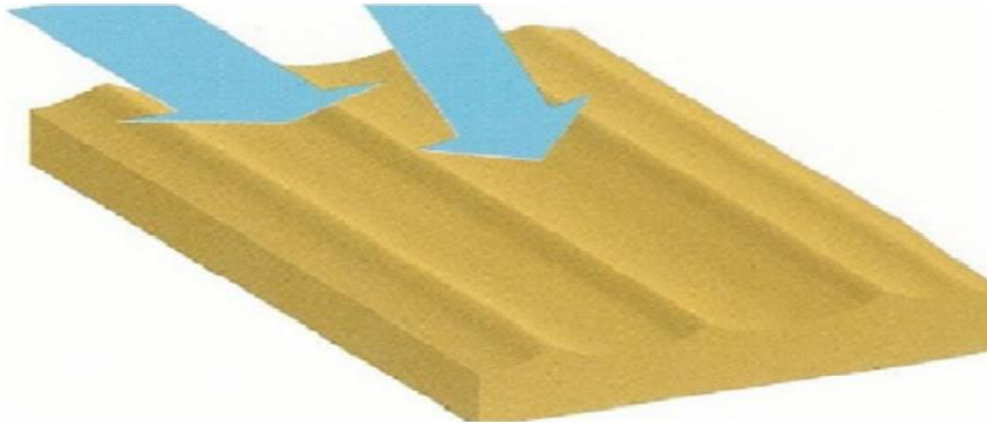


Fig.I.5: Dune longitudinale[3].

I.2.5.Utilisation des sables :

Les sables sont employés dans le domaine de la construction pour la fabrication de mortiers et de béton. Les sables vont augmenter l'ouvrabilité du mortier ou du béton en le rendant plus dense. Toutefois, si les sables ronds sont plus malléables, les sables angulaires ont la particularité de rendre le béton plus résistant. Des mesures particulières sont à prendre pour le sable artificiel provenant du laitier, ce dernier pouvant altérer les liants. Dans le cas d'utilisation de sable de site terrestre, il est recommandé d'éliminer la couche superficielle généralement souillée (salie) de matières organiques qui affectent son mouillage par l'eau de gâchage.[3]

I.2.6. Propriétés :

Le sable forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ 30° , au-delà de cet angle, ils s'écoulent 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° .

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.

La silice (quartz) est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO_2 . La silice pure se présente sous la forme d'un minéral dur et existe sous des formes variées dans la nature:

Principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27% de la croûte terrestre ;

- fréquente dans les roches métamorphiques ;
- fréquente dans les roches magmatiques : quartz dans les roches magmatiques acides, cristallisé ou amorphe dans les roches volcaniques.

La silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques SiO_4 liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre.

I.2.7. Classification des sables :

Les sables sont des granulats de dimension maximale « D » n'excédant pas 5mm.

I.2.7.1. Selon la provenance:

Ils peuvent être également distingués suivant leurs provenances :

a) Sable naturelle

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau). Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les cours d'eau.

Les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morphoscopie) au cours des temps géologiques.

Les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus claire que la teneur en silice est élevée.

Les sables sont toujours définis en fonction des constituants (masses orbitaires), on parle ainsi de sable quartzeux, feldspathique, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux. [7]

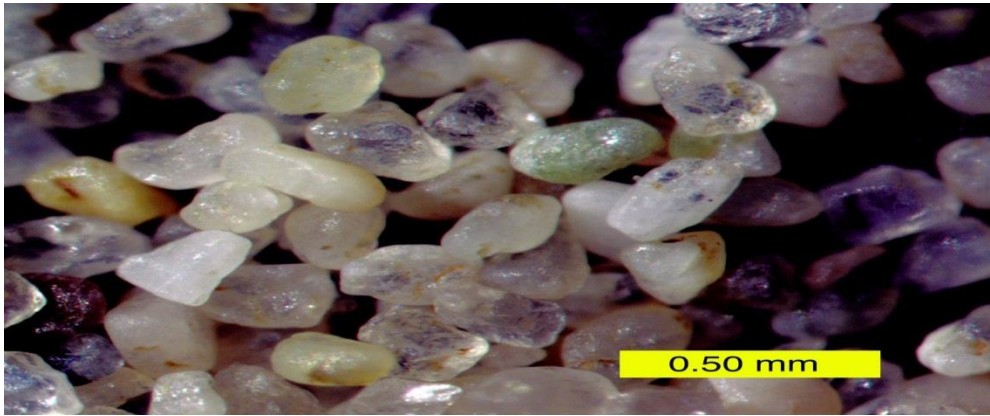


Fig.I.6: Sable Roulé (naturel)[7].

b) Sable Concassé :

Les sables de concassage se composent de la fraction fine de granulats provenant du concassage et du criblage de pierres et de roches naturelles. Leurs dimensions se situent entre 0 et 5 mm. Les sables de concassage sont disponibles dans les carrières (calcaire, grès et porphyre) de Concasseur Granulats. L'utilisation des sables est déterminée par la dimension des grains et les caractéristiques intrinsèques (mécaniques et chimiques) de la roche dont ils proviennent. En règle générale, ils s'utilisent pour des sous-fondations et fondations, dans des applications liées au ciment, par exemple du béton, et pour la production de mélanges bitumineux [6].



Fig.I.7: Sable Concassé[6]

c) Sables artificiels :

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier ramolli ayant subi un refroidissement rapide, et le laitier broyé obtenu à partir du concassage du laitier granulé.



Fig.I.8: Sable Artificielle[7].

I.2.7.2.Selon la granularité :

Le sable, d'après la granularité peut être divisé en quatre catégories :

- 1-sable gros : le module de finesse de ce sable supérieure à 2.5.
- 2-sable moyen : le module de finesse de ce sable est entre 2 et 2.5.
- 3- sable fin : le module de finesse de ce sable est entre 1.5 et 2.0.
- 4- sable très fin : le module de finesse de ce sable est entre 1.0 et 1.5.[7]

I.2.7.3.Selon la propreté et la teneur en fines :

Elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.

- 1- Sable argileux :ES de cette sable est inférieur a60% ; risque de retrait ou de gonflement, a rejeter pour des bétons de qualité.
- 2-Sable légèrement argileux :ES entre 60 et 70% ; de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
- 3-Sable propre :ES de cette sable entre 70 et 80% à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitementpour les bétons de haute qualité.
- 4-Sable très propre :ES de cette sable supérieur à 80% ; l'absence presque totale des fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton .[7]

I.2.7.4.Selon La nature minéralogique :

En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- Sables siliceux : la majorité despourcentages de composition est un pourcentage de silice (SiO_2).

- Sables silico-calcaires : constituant chimiquement majorité est un calcaire (CaCO_3) et de silice (SiO_2)

- Sables calcaires : la majorité des pourcentages de composition est un pourcentage de calcaire (CaCO_3). [7]

I.2.8. Caractéristiques des sables :

Les sables sont les principaux composants du mortier (70 % en poids). Les performances mécaniques des granulats vont donc conditionner la résistance mécanique du mortier et leurs caractéristiques géométriques et esthétiques, en particulier.

Le choix des caractéristiques des granulats (roulés ou concassés, teintes, dimensions) est déterminé par les contraintes mécaniques, physico-chimiques et esthétiques du projet à réaliser et de mise en œuvre du béton (critère de maniabilité, enrobage). [2]

I.2.8. 1. Caractéristiques géométriques

a) Classe granulaire :

Les granulats sont désignés selon leur classe granulaire d/D (avec d : dimension inférieure et D : dimension supérieure).

L'intervalle d/D est appelé classe granulaire. Les classes granulaires sont spécifiées en utilisant des séries de dimensions de tamis (en mm).

b) Granularité :

La granularité représente la distribution dimensionnelle des grains contenus dans un granulat.

Elle est déterminée par tamisage (avec une série de tamis, de dimensions d'ouvertures décroissantes) et exprime le pourcentage massique de granulats passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis.

La proportion de particules retenues par un tamis s'appelle le refus, son complément le passant. Elle est représentée par une courbe granulométrique représentant les dimensions de tamis en abscisses et en ordonnées les pourcentages de passants cumulés à travers les tamis successifs (en poids de grains). [2]

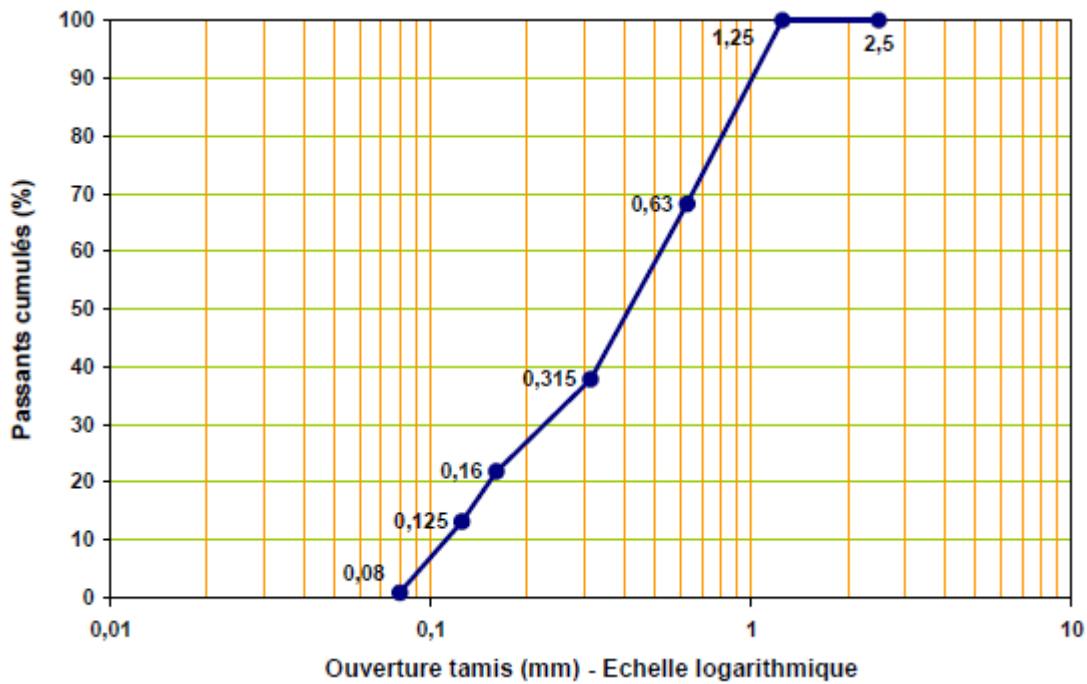


Fig.I.9 : Exemple sur la granulométrie de sable

c) Forme des Grants :

Une observation au microscope optique a permis de distinguer des géométries particulières parmi les grains constituant le « sable normalisé ».

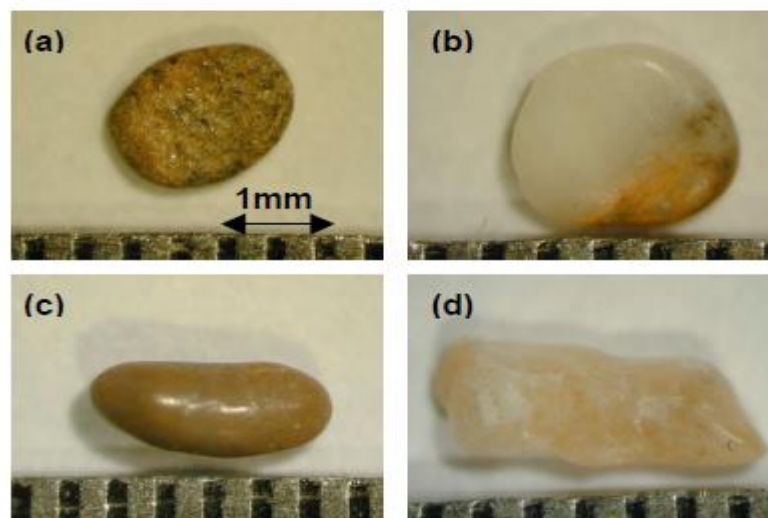


Fig.I.10-Géométries particulières des sables[6]

Afin de prendre en considération l'influence de la géométrie des grains de sable sur le comportement équivalent du mortier, nous avons approché les sables (cas a et b) par des **sphéroïdes aplatis aux pôles** avec ($a_1=a_2=0.95\text{mm}>a_3=0.2\text{mm}$) et les sables (cas c et d) par des **sphéroïdes allongés** avec ($a_1=a_2=0.55\text{mm}<a_3=1.66\text{mm}$). Ainsi, trois types de géométrie du sable normalisé sont considérés pour la réalisation du mortier de résine (figure II.7).[2]

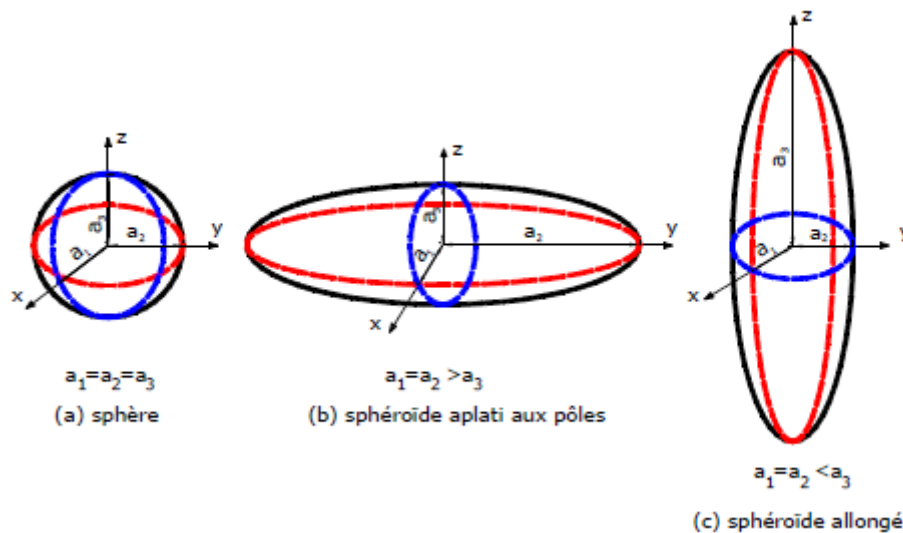


Fig.I.11-Différentes géométries des inclusions

d) Module de finesse :

Les sables sont caractérisés par le module de finesse (MF). Le module de finesse d'un granulats est égal au 1/100e de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur différents tamis.

Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable.

Plus le module de finesse est faible, plus le sable est fin. Un module de finesse élevée caractérise un sable grossier.

I.2.8. 2. Caractéristiques physico-chimiques :

a) Propreté des granulats :

Les impuretés peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulats-pâte, ce qui peut avoir une incidence sur la résistance du béton. La propreté traduit l'absence d'éléments fins indésirables dans les granulats. Elle désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur doit être limitée. Dans le cas des gravillons, elle est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage effectué sous eau).

Dans le cas des sables, la propreté (SE) est fournie par l'essai appelé « équivalent de sable » qui permet de mesurer la fraction argileuse du matériau. L'essai consiste à séparer le sable des matières argileuses ou fines, qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage (plus la valeur de SE est grande, plus le sable est propre). Elle peut également être évaluée par l'essai au bleu de méthylène (VB) plus la valeur de

VB est petite, plus les sables sont propres. Le bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer. La valeur de bleu (VB) exprime la quantité de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines.

Il faut souligner l'importance de la propreté des granulats sur la qualité du béton. La présence de particules argileuses est en effet défavorable, autant à la mise en œuvre du béton qu'à ses performances finales, en abaissant l'adhérence de la pâte de ciment sur les granulats.

D'autres impuretés telles que les particules organiques sont susceptibles de nuire aux qualités du béton et perturber son durcissement. Les sels tels que les sulfates ou les sulfures, peuvent être à l'origine de phénomènes de gonflement ou de tâches. Les corps étrangers (lignites ou scories) sont à proscrire. [1]

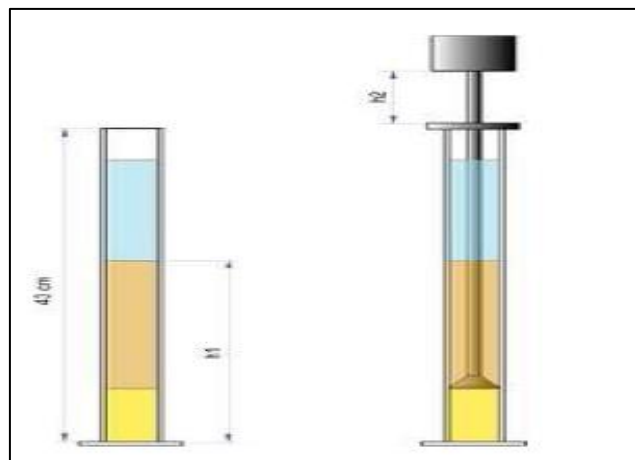


Fig. I.12: Essai « équivalent de Sable »

I.2.8. 3. Caractéristiques physiques et mécaniques :

Les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats sont déterminées par des essais visant à reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats. Elles sont donc spécifiées en fonction de leur emploi. [3]

a) Porosité :

La porosité représente le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. La porosité des granulats courants est en général très faible. Elle est importante dans le cas des granulats légers.

b) Coefficient d'absorption d'eau :

Le coefficient d'absorption d'eau A_b représente la capacité d'absorption d'eau d'un granulat, Plus il est élevé, plus le matériau est absorbant.

c) Masse volumique en vrac ou apparente :

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement des grains, Elle est comprise entre 1400 kg/m³ et 1600 kg/m³ pour les granulats roulés silico-

calcaires.

La masse volumique réelle du granulat (vides entre grains exclus) est nettement plus élevée : de 2500 à 2600 kg/m³. [2]

I.2.8. 4. Caractéristiques chimiques :

a) Teneur en ions chlorures :

Les chlorures modifient la cinétique d'hydratation du ciment et provoquent la corrosion des armatures. La teneur en chlorure issu de l'ensemble des constituants du béton est donc limitée. [3]

b) Réactivités aux alcalis :

Dans des conditions défavorables (granulats contenant une fraction significative de silice soluble réactive dans un environnement riche en alcalin) et en présence d'humidité, les phénomènes d'alcali-réaction peuvent provoquer un gonflement du béton. Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR), potentiellement réactifs (PR) ou potentiellement réactifs à effet de pessimisme (PRP). [3]

c) Teneur en soufre et en sulfates :

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures sous réserve que leur teneur en soufre total S n'excède pas 0,4 % en masse. La teneur en sulfates (SO₃) doit être inférieure à 0,2 %. On la détermine si S est supérieure à 0,08 %. Les sulfures présents dans les granulats peuvent en s'oxydant se transformer en sulfates qui risquent de générer des phénomènes de gonflement. Il faut donc limiter la teneur en soufre pour se prémunir de ce phénomène. [3]

I.2.9. Traitement des sables :

Le traitement des sables signifie en d'autre terme le faire débarrasser les éléments nocifs et nuisibles, à tels que les éléments poussiéreux, argileux, vaseux et les impuretés : sels, sulfates, micas, etc... afin d'obtenir un sable de bonne qualité et de composition granulométrique acceptable, On peut distinguer les méthodes de traitements suivants : [6]

I.2.9 .1. Méthode de lavage :

Elle consiste à éliminer une partie des grains fins qui sont toujours nuisibles car ils empêchent l'adhérence entre la surface des grains et les cristaux du ciment. Par contre une petite quantité des fines libres sont plutôt souhaitable. Ils augmentent la maniabilité du béton et remplissent les vides entre les grains du sable. [6]

I.2.9 .2. Méthode ventilateur :

Cette méthode a pour but d'éliminer l'excès des grains fins ; impureté ; poussières... [6]

I.3.Ciment :

II.3.1 Généralités:

Les ciments sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450°C) et le broyage d'un mélange minéral (calcaire + argile en général). Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier silicates et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par «hydratation» de faire prise durcir progressivement (plus ou moins rapidement d'ailleurs) d'où le nom de liants hydrauliques par opposition avec «liants aériens» (à base de chaux grasse et maigre).

II .3.2 Définitions sur Des constituants de base:

a)Clinker (K):

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (Clinkération) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO), de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃). Le mélange est En général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, Marn...). C'est le clinker qui, par broyage en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des «Portland» et confère aux ciments de ce groupe leurs propriétés caractéristiques. Les quatre principaux constituants du clinker sont:

- Le silicate tricalcique: SiO₂, 3CaO (ou C₃S), (50 à 65%),
- Le silicate bicalcique: SiO₂, 2CaO (ou C₂S), (15 à 20%),
- L'aluminate tricalcique: Al₂O₃, 3CaO (ou C₃A), (5 à 10%),
- L'alumino-ferrite tétracalcique : 4CaO, Fe₂O₃, (ou C₄AF) (5 à 10%).

SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO%	MgO%	K ₂ O%	Na ₂ O%	SO ₃ %	PAF%
21.49	5.28	3.56	66.4	1.94	0.63	0.1	0.59	0.62

Tableau I.1 : Composition chimique du clinker

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
61.55	14.98	9.43	9.30

Tableau I. 2 : Composition minéralogique du clinker

B) Laitier granulé de haut fourneau (S):

C'est un résidu minéral de la préparation de la fonte dans les hauts fourneaux à partir du minerai et du coke métallurgique. Il sort du trou de coulée à une température de l'ordre de 1500°C. Figé par refroidissement brusque, il donne un produit granulé qui est ajouté au clinker en proportion variable pour être broyé finement avec lui. Il contient de la chaux (45 à 50%), de la silice (25 à 30%), de l'alumine (15 à 20%) et 10% environ de magnésium, oxydes divers et manganèse. Le laitier est un véritable ciment manifestant par lui-même des propriétés hydrauliques, grandement activées d'ailleurs par la présence du clinker. Sa hydratation, qui se traduit par le développement de résistances mécaniques est moins rapide que celle du portland surtout dans sa période initiale. Elle dégage parallèlement moins de chaleur et accuse une sensibilité plus marquée aux variations de température (aboutissement ou élévation). Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le portland et gagne donc d'avantage la dessiccation. Mais chimiquement, il résiste normalement mieux tant à l'action destructive des sulfates, qu'à la dissolution de la chaux par les eaux pures ou chargées de certains sels ainsi que par celles contenant du gaz carbonique agressif. [8]

c) Pouzzolanes naturelles (Z):

Les pouzzolanes naturelles sont:

Des substances d'origine volcanique ou des roches sédimentaires ayant une composition appropriée des argiles et des schistes activés thermiquement.

Les pouzzolanes doivent leur nom aux cendres volcaniques de la région de Pouzzoles, en Italie, qui étaient utilisées par les Romains pour la confection du ciment.

Les pouzzolanes n'ont pas de propriétés hydrauliques intrinsèques; mais, en présence de la chaux libérée par le clinker au cours de son hydratation, elles forment elles aussi des hydrates stables, semblables à ceux qui sont formés à la suite de l'hydratation du clinker. Les constituants qui, par le même processus que les pouzzolanes, conduisent également à la formation d'hydrates stables sont réputés avoir des propriétés pouzzolaniques. [8]

d) Cendres volantes (V ou W):

Elles proviennent du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques alimentées au charbon. On distingue:

- Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques;

- Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et, parfois, pouzzolaniques.[8]

e) Schistes calcinés (T):

Ce sont des schistes que l'on porte à une température d'environ 800°C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques.[8]

f) Calcaires (L):

Pour pouvoir être considérés comme un constituant principal du ciment les calcaires doivent être composés de 75% au moins de CaCO_3 . [8]

g) Fumées de silice (D):

Les fumées de silice sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1 μm). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, Elles doivent comporter au moins 85% (en masse) Les fumées de silice ont des propriétés pouzzolaniques.[8]

h) Fillers (F):

Ce sont des "constituants secondaires" des ciments, c'est-à-dire qu'ils ne pouvant jamais excéder 5% en masse dans la composition du ciment. Ce sont des matières minérales, naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau). [8]

II.3.3.Principe de fabrication du ciment :

Les matériaux naturels de carrière (calcaire, marne, argile) doivent d'abord être concassés puis broyées pour obtenir un mélange intime, homogène et bien dosé (environ 75% de calcaire pour 25% d'argile).

Ce broyage peut se faire à sec (procédé sec) ou en présence d'eau (procédé humide, pratiquement abandonné parce que consommant trop d'énergie).le mélange homogène ainsi réalisé passe dans un four rotatif où se produit vers 1450°C en général, la «Clinkérisation» terme habituellement utilisé pour caractériser l'évolution à haute température d'un système, renfermant simultanément des phases solides et liquides (en fusion) C'est alors qu'ont lieu des ,réaction entre la chaux CaO et les oxydes acides : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , et que se forment ,Les silicates aluminates et aluminosulfate de calcium Pour fixer les idées, précisons qu'un regard ,four moderne peut

atteindre 250m de longueur et 6 à 7m de diamètre et produit près de 3000t de clinker par 24heure.

La cuisson terminée, le clinker qui se présente sous la forme de grains plus ou moins arrondis de 0,5 à 3cm de diamètre environ est refroidie rapidement pour éviter des transformations cristallines nuisibles

Le clinker additionné d'un peu de gypse (3 à 5%) avec éventuellement certains produits telsque laitier, cendres, pouzzolanes, est ensuite réduit en poudre fine dans un broyeur à boulets, la finesse de mouture et variable suivant les qualités recherchées, elle peut avoir 2700 à 4500cm²/g en surface spécifique Blaine, sa valeur moyenne normale est de l'ordre de 3200cm²/g.

Le ciment issu du broyage est conservé en silo un certain temps, puis conditionné pour l'expédition en sacs, en containers ou avec vrac (wagon, camion, péniche). Le tonnage de la production française est tombé de plus de 30millions.

a) L'extraction et la préparation des matières premières:

Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique ou encore par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage. Pour produire des ciments de qualités constantes, les matières premières doivent être très soigneusement échantillonnées, dosées et mélangées de façon à obtenir une composition parfaitement régulière dans le temps.

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Mais si elle peut varier d'une cimenterie à l'autre en fonction de la qualité du gisement exploité, la composition du cru reste dans des proportions bien définies.[14]

- Oxyde ferrique (Fe₂O₃) : de 1,5 à 3 %
- Silice (SiO₂) : de 13 à 14%
- Carbonate de calcium (CaCO₃) : de 77 à 83 %
- Alumine (Al₂O₃) : de 2 à 4%



Fig. I.13 : L'extraction



Fig.I.14: préparation des matières première

La roche est échantillonnée en continu pour déterminer la quantité des Différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine et silice). Le mélange Est ensuite réalisé dans un hall de pré homogénéisation où la matière est Disposée en couches horizontales superposées puis reprise vert.

b) Le concassage :

Les matériaux sont réduits par le concasseur à une taille maximum de 80 mm



Fig.I.15: concassage de la roche calcaire.



Fig.I.16: Pré-homogénéisation du cru

c)Le séchage et le broyage :

Pour favoriser les réactions chimiques ultérieures, les matières premières doivent être séchées et broyées très finement (quelques microns), dans des broyeurs à boulets ou dans des broyeurs à meules verticaux.

Ces derniers, plus récents, sont plus économique en énergie et permettent un séchage plus efficace, Ensuite 3 voies sont possibles : la voie humide, la voie sèche et semi sèche. La première

est plus ancienne et implique une grande consommation d'énergie pour évaporer l'eau excédentaire. Aujourd'hui, Ciments Calcina n'utilise plus que la voie sèche ou semi sèche.[9]

d) Le préchauffage :

Avant introduction dans le four, la farine est préchauffée à environ 800 °C dans un préchauffeur à grille ou à cyclones.

Dans ces procédés, les matières premières sont parfaitement homogénéisées et séchées lors de l'opération de broyage afin d'obtenir la farine Celle-ci peut être introduite directement dans le four sous forme pulvérulente (voie sèche), ou préalablement transformée en "granules" par humidification (voie semi sèche) [9]



Fig.I.17: Préchauffage de l'argile et le calcaire

e)La Cuisson :

La cuisson se fait à une température voisine de 1450 °C dans un four rotatif, long cylindre, tournant de 1,5 à 3 tours/minute et légèrement inclinée. La matière chemine lentement et se combine en venant à la rencontre de la source de chaleur, une longue flamme alimentée au charbon pulvérisé, au fuel lourd. Au gaz, ou encore partiellement avec des combustibles de substitution (valorisation de résidu d'autres industries). L'énergie calorifique consommée est considérable : 3 200 à 4 200 K.Joules (l'équivalent de 100 kg de charbon) par tonne de clinker produit. Pour améliorer le bilan thermique, on utilise en amont du four un

échangeur thermique qui préchauffe le cru à environ 800 °C. Deux types d'échangeurs sont utilisés :

- L'échangeur à cyclone si le cru est introduit dans le four sous forme pulvérulente (voie sèche)
- L'échangeur à grille s'il est introduit sous forme de granules humidifiées (voie semi sèche).

Entre l'échangeur et le four, est quelquefois installé un brûleur supplémentaire assurant une «pré calcination», c'est à dire une décarbonatation partielle qui favorise les réactions ultérieures de Clinkérisation et améliore la fiabilité de l'atelier de cuisson. à la sortie du four, un refroidisseur à grille permet d'assurer la trempe des nodules incandescents et de les ramener à une température d'environ 100 degrés Tout au long de la cuisson, un ensemble de réactions physico-chimiques conduit à l'obtention du clinker :

- La décarbonatation du carbonate de calcium (calcaire) donne de la chaux vive.
- L'argile se scinde en ses constituants : silice et alumine.

Qui se combinent à la chaux pour former des silicates et aluminates de chaux. Ce phénomène progressif constitue la Clinkérisation. Du clinker aux ciments. la cuisson se fait dans un four rotatif où la température de la flamme avoisine 1450°C. A la sortie du four, la matière appelée clinker Passe dans un refroidisseur.[9]



Fig.I.18 : Cuisson pour obtenir le clinker

Que l'on ajoute au clinker le gypse (3 à 5%) indispensable à la régulation de prise Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets. Les corps bruyants sont constitués de boulets d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker et amènent progressivement le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 40 microns. A la sortie du broyeur, Un cyclone sépare les éléments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur. C'est également lors du broyage du ciment.[9]

f)Le broyage et le séchage :

Les matières premières sont ensuite séchées et broyées très finement On obtient la farine. Celle-ci sera plus tard introduite dans le four sous forme pulvérulente ou préalablement transformée granules.



Fig.I.19 : Broyeur de clinker

On obtient alors le ciment "Portland". Les ciments "à ajouts" sont obtenus par l'addition au clinker, lors de son broyage, d'éléments minéraux supplémentaires contenus par exemple dans les laitiers de hauts fourneaux, les cendres de centrales thermiques, les fillers calcaires, les pouzzolanes naturelles ou artificielles. Ainsi sont obtenues les différentes catégories de ciments qui permettront la réalisation d'ouvrages allant du plus courant au plus exigeant.[9]

g) Le stockage du clinker :

Le clinker refroidi est ensuite stocké sous un hall couvert ou dans des silo. Les sacs sont acheminés vers des palettiseurs qui constituent des palettes de 1500 kg transportées par camion. Le ciment livré en vrac constitue 70% de la production. Il est transporté par camion-citerne, par train ou par bateau.[9]



Fig.I.20 : Silos pour stockage le ciment

II.3.4 Classification des ciments courants :

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme NF EN 197-1.

II.3.4 .1.Classification suivant la composition :

La norme européenne **NF 197-1**[8] donne 27 ciments courants, qui sont regroupés en cinq Principaux types à savoir :

- **CEM I** : Ciment Portland Artificiel.
- **CEM II** : Ciment Portland Composé.
- **CEM III** : Ciment de Haut Fourneau.
- **CEM IV** : Ciment Pouzzolanique.
- **CEM V** : Ciment aux Laitiers et aux Cendres.

II.3.4 .2.Classification suivant les résistances a la compression :

La norme européenne **NF EN 196-1** [12] classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression voir (Tableau I-2).

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
23.5N	—	≥16.0	≥32.5	≤52.5
32.5R	≥10.0	—		
42.5N	≥10.0	—	≥42.5	≤62.5
42.5R	≥20.0	—		
52.5N	≥20.0	—	≥52.5	—
52.5R	≥30.0	—		

Tableau I.3 : Résistance à la compression des ciments [9]

I.3.5. Propriétés des ciments :

I.3.5.1. Caractéristique physiques:

a) Comportement physico –chimique de la pâte :

Le ciment est essentiellement constitué de :

- _ Silicate tricalcique : C₃S
- _ Silicate bicalcique : C₂S
- _ Aluminate tricalcique- : C₃A
- _ Aluminoferrite tétracalcique: C₄AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins chevêtrées produisant la prise.

Cette réaction chimique accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

1) Prise :

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau.

La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

- _ 1h30 pour les ciments des classes 32,5 et 32.5R.
- _ 1h pour les ciments des classes 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C.

2) Chaleur d'hydratation :

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C₃A que l'on intérêt à les temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 j/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 j/g pour certains CPA-CEM I.

3) Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en cm²/g, représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de 1kg de ciment, elle est, d'une façon générale, comprise entre 3000 et 3500 cm²/g, certains ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieure à 4500 cm²/g [3].

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'évènement du Ciment sont accrus.

4) Retrait :

Lorsque l'élément du béton ou mortier se trouvera dans une atmosphère ayant une humidité relative inférieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier diminuent ; c'est le retrait.

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50% [3].

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

_800µm/m pour les ciments portland CPA-CEM I ET CPJ-CEMII de classe 32 ,5R.

_1000µm/m pour des types de ciment identique mais des classes 32,5R-42,5 et 42,5R.

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

_La nature du ciment ;

_La finesse de mouture ;

_Le dosage en ciment, dans le béton ;

_Le dosage en eau ;

_La propreté et nature des granulats.

5) Gonflement :

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent ; c'est le gonflement.

Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes.

Chapitre

2

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

CHAPITRE II : CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX UTILISES

II.1. Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du mortier.

La caractérisation des matériaux utilisés a été réalisée expérimentalement au niveau du laboratoire de Génie civil « Ginlab » à M'silla. Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans les régions d'Algérie.

II.1.2. Les matériaux utilisés sont :

a. Sables :

- Le sable de région TAMSSA de Boussaâda.(F)
- Le sable de région de TILLOULINE d'Adrar.....(D)
- Le sable de région de DJAMAA d'Oued Soufe..... (A)
- Le sable concassé de la carrière M'CIF (COSSIDER)..... (C)
- Le sable de plage TICHl de Bejaïa (B)
- Le sable élaboré..... (E)

b. Ciment :

- Les ciments utilisés sont les ciments commercialisés dans le marché Algériens (CHAMILE, CRS , MATINE, MOKAOIME, SARIAA) qui sont fabriqués par Lafarge Holcime situé à la région Hammam Dalàa wilaya de M'SILA.

c .Eau

- Eau de gâchage utilisée est une eau distillée.

II.2. Sables :

II.2.1. Identification des sables utilisés

II.2.1.1. Sable de la région TAMSA :

- Le sable de base utilisé provient de TAMSSA qui se trouve loin de 30 km de BOUSSADA. Ce sable est utilisé dans le domaine de construction dans les environs.

II.2.1.2. Sable de la région TILLOLINE :

- Le sable est largement connu dans la région Tilloline qui se trouve à 90 Km du centre wilaya ADRAR .Ce sable est couramment utilisé dans le domaine de construction dans cette région.

▪

II.2.1.3. Sable de la région DJAMAA :

Le sable de DJAAMA qui se trouve dans la région de DJAAMA à 160 km du centre de la wilaya de Oued Souf , est un sable de dune couramment utilisé dans la construction à la région .

II.2.1.4. Sable de plage TICHI :

Le sable de plage de TICHI qui se trouve dans la région de TICHI à 15 km de centre de la wilaya de Bejaia, est un sable non utilisable dans la construction. Le but de ramener ce sable est bien de l'utiliser pour corriger la légèreté de sable élaboré.

II.2.1.5. Sable Normalisé :

Le sable normalisé est le sable de référence qui est utilisée dans la cimenterie de LAFARGE - HOLCIM- M'sila..

Les différentes caractéristiques physiques sont représentées dans la table ci-dessous

II.2.2. Caractéristiques physiques des sables:

II.2.2.1. Caractéristiques physiques de sable normalisé :

Caractéristiques de sable normale		Valeurs
Masse volumique apparente (g/cm ³) NF P18- 554		1,70
Masse volumique absolue (g/cm ³) NF P18- 555		2,63
Equivalent de sable NF-18-598	E.S.V(%)	94
	E.S (%)	93
Module de finesse (%) EN12620		2.65
La compacité(%) NF 18-554		64.64
La porosité(%) NF 18-554		35.36
L'indice de vide NF 18-554		0.54
Teneur en eau(%)NF P 18-555		0.05
Absorption eau (%)NF P 18-555		0.2

Tableau II.1. Caractéristiques physiques du sable normalisé

II.2.2.2. Etude expérimentale sur les sables locaux utilisés :

a- La Masse spécifique (absolue) du Sable NF P18- 555 :

C'est la masse de l'unité de volume absolu de corps, c'est à dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume vide.

La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la formule:

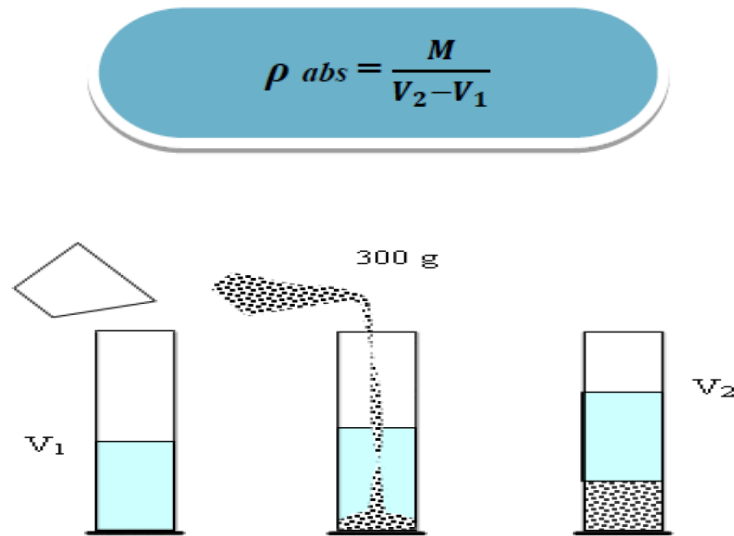


Fig II .1 : Mode de mesure de la masse volumique

Sable	Facteurs	Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	valeur moyenne
A	M en (g)	300	300	300	2.49
	V1 en (cm3)	300	300	300	
	V2 en (cm3)	420	421	420	
	ρ_{abs} en(g/cm3)	2.5	2.47	2.5	
B	M en (g)	300	300	300	2.99
	V1 en (cm3)	300	300	300	
	V2 en (cm3)	400	401	400	
	ρ_{abs} en(g/cm3)	3	2.97	3	
C	M en (g)	300	300	300	2.52
	V1 en (cm3)	300	300	300	
	V2 en (cm3)	420	416	420	
	ρ_{abs} en(g/cm3)	2.5	2.58	2.5	
D	M en (g)	300	300	300	2.52
	V1 en (cm3)	300	300	300	
	V2 en (cm3)	419	418	419	
	ρ_{abs} en(g/cm3)	2.52	2.54	2.52	
E	M en (g)	300	300	300	2.62
	V1 en (cm3)	300	300	300	
	V2 en (cm3)	414	415	414	
	ρ_{abs} en(g/cm3)	2.63	2.60	2.63	
F	M en (g)	300	300	300	2.67
	V1 en (cm3)	300	300	300	
	V2 en (cm3)	412	412	412	
	ρ_{abs} en(g/cm3)	2.67	2.67	2.67	

Tableau II.2 : Masse spécifique des différents sables

b- Masse volumique apparente: NF P 18-554:**-À l'état lâche:**

C'est La masse du matériau par unité de volume V comprise le volume des vides existant entre les grains ; Est donnée par formule suivant :

Volume de récipient $V_r = 1000\text{cm}^3$.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

sable	Facteurs	Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	valeur moyenne
A	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.62
	M2 en (g)	1073.7	2160	200	
	ρ_{app} en(g/cm3)	1.62	1.63	1.62	
B	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.47
	M2 en (g)	933.7	933.7	923.7	
	ρ_{app} en(g/cm3)	1.48	1.48	1.47	
C	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.47
	M2 en (g)	913.7	943.7	933.7	
	ρ_{app} en(g/cm3)	1.46	1.49	1.48	
D	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.59
	M2 en (g)	2125.2	2156.8	2142.8	
	ρ_{app} en(g/cm3)	1.57	1.61	1.59	
E	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.64
	M2 en (cm3)	1103.7	1093.7	1103.7	
	ρ_{app} en(g/cm3)	1.65	1.64	1.65	
F	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.55
	M2 en (cm3)	1003.7	1013.7	1013.7	
	ρ_{app} en(g/cm3)	1.55	1.56	1.56	

Tableau. II.3 : Masse volumique des différents sables utilisés à l'état lâche

- À l'état compact:

La masse volumique à l'état compact est la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restants entre les grains, Elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Même procédure que celle à l'état lâche. Après remplissage du récipient (après tassement) on soumet ce dernier à 30 secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et l'on pèse. Soit M2 le poids de l'ensemble (sable+ récipient) la masse volumique à l'état compact est donnée par la formule suivante:

D' où:

M1:masse du récipient à vide.

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

$$V_r = 1000 \text{ cm}^3$$

Sable	facteurs	Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	valeur moyenne
A	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.71
	M2 en (g)	1073.7	2265	1173.7	
	ρ_{app} en(g/cm ³)	1.7	1.7187	1.72	
B	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.64
	M2 en (g)	1093.7	1103.7	1093.7	
	ρ_{app} en(g/cm ³)	1.64	1.65	1.64	
C	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.53
	M2 en (g)	983.7	1003.7	973.7	
	ρ_{app} en(g/cm ³)	1.53	1.55	1.52	
D	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.72
	M2 en (g)	2274.2	2259.7	2266.5	
	ρ_{app} en(g/cm ³)	1.73	1.71	1.72	
E	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.69
	M2 en (cm ³)	1153.7	1123.7	1173.7	
	ρ_{app} en(g/cm ³)	1.7	1.67	1.72	
F	M1 en (g)	546.3	546.3	546.3	1.74
	M2 en (cm ³)	1203.7	1223.7	1153.7	
	ρ_{app} en(g/cm ³)	1.75	1.77	1.7	

Tableau II.4 : Masse volumique des différents sables utilisés à l'état compact

c-La compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est le rapport entre la masse volumique apparente et la masse volumique absolue du matériau.

La compacité est donnée par le rapport :

$$C\% = \rho_{app} / \rho_{abs} * 100$$

Compacité	A	B	C	D	E	F
Etat lâche en(%)	65.06	49.16	58.33	63.09	62.59	58.05
Etat compact en(%)	68.67	54.85	60.71	68.25	64.50	65.17

Tableau II.5 : La compacité des sables

d-Porosité :(NF 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable, la porosité est par définition le complément à l'unité de compacité.

$$P\% = 100 - C\%$$

Comme elle peut être exprimée par la relation suivante :

$$P\% = [1 - (\rho_{app} / \rho_{abs})] * 100$$

porosité	A	B	C	D	E	F
Etat lâche en(%)	34.94	50.84	41.67	36.91	37.41	41.95
Etat compact en(%)	31.33	45.15	39.29	31.75	35.5	34.83

Tableau II.6 : Porosité des sables.

e-Indice de vide :(NF 18-554)

L'indice de vide est le rapport entre la porosité et la compacité.

$$I=P/C$$

On obtient les résultats dans les tableaux suivant :

Indice de vide	A	B	C	D	E	F
Etat lâche	0.54	1.03	0.71	0.58	0.59	1.38
Etat compact	0.45	0.82	0.65	0.46	0.55	0.53

Tableau II.7 : Indice de vide des sables.

f- Equivalant de sable : NF-18-598 :**-But:**

Cet essai a pour but de mesurer la propreté d'un sable, c'est-à-dire la quantité de particules fines et les éléments fins présents dans le sable.

-Principe de l'essai:

L'essai consiste à laver l'échantillon de sable puis déterminer la quantité d'éléments fins (argile linons et impuretés) contenues dans cet échantillon, par rapport à la quantité d'élément sableux. C'est le rapport multiple par cent (100) de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur total du floculat et de la partie sédimentée, nous avons:

-L'équivalent de sable piston : mesure au piston (E.S.P)

-L'équivalent de sable visuel :(E.S.V)

L'essai est réalisé à 20°C sur une fraction de sable passant par un tamis de 2mm.

1- Equivalent de sable visuel (E.S.V):

Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle, mesure également avec le réglet la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et fond de l'éprouvette

$$ESV=(h_2/h_1)*100(\%)$$

Où $h_2 < h_1$.

h_1 : la hauteur du sable + élément fins.

2- Equivalent de sable piston (E.S.P) :

-Introduire le piston dans l'éprouvette et descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

$$ESP = (h_2'/h_1) * 100(\%)$$

sable	facteurs	Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	valeur moyenne	
					ESV en(%)	ESP en(%)
A	H ₁ en (cm)	9.00	9.20	9.15	97.81	94.70
	H ₂ en (cm)	8.90	8.95	8.90		
	H ₂ ' en(cm)	8.70	8.80	8.40		
	ESV en(%)	98.88	97.28	97.26		
	ESP en(%)	96.66	95.65	91.80		
B	H ₁ en (cm)	9.00	8.90	9.20	97.78	96.31
	H ₂ en (cm)	8.80	8.70	9.00		
	H ₂ ' en(cm)	8.70	8.60	8.80		
	ESV en(%)	97.77	97.75	97.82		
	ESP en(%)	96.66	96.62	95.65		
C	H ₁ en (cm)	10.80	10.80	10.70	89.00	84.83
	H ₂ en (cm)	9.50	9.65	9.60		
	H ₂ ' en(cm)	9.10	9.10	9.20		
	ESV en(%)	87.96	89.35	89.71		
	ESP en(%)	84.26	84.25	85.98		
D	H ₁ en (cm)	9.69	9.60	9.30	99.33	94.67
	H ₂ en (cm)	9.65	9.50	9.25		
	H ₂ ' en(cm)	9.01	9.05	9.00		
	ESV en(%)	99.58	98.95	99.46		
	ESP en(%)	92.98	94.27	96.77		
E	H ₁ en (cm)	10.80	10.70	10.90	92.99	92.00
	H ₂ en (cm)	10.03	9.96	10.14		
	H ₂ ' en(cm)	9.94	9.84	10.03		
	ESV en(%)	92.87	93.08	93.02		
	ESP en(%)	92.04	91.96	92.02		
F	H ₁ en (cm)	14.50	14.20	15.20	62.72	55.82
	H ₂ en (cm)	9.00	9.00	9.20		
	H ₂ ' en(cm)	8.00	8.10	8.40		
	ESV en(%)	64.28	63.38	60.52		
	ESP en(%)	55.17	57.04	55.26		

Tableau II.8 : Équivalent de sable pour différent des sables

-Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

G- Analyse granulométrique : [NF P 18-304]

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. Elle comprend deux opérations :

- Tamisage ;
- Sédimentation.

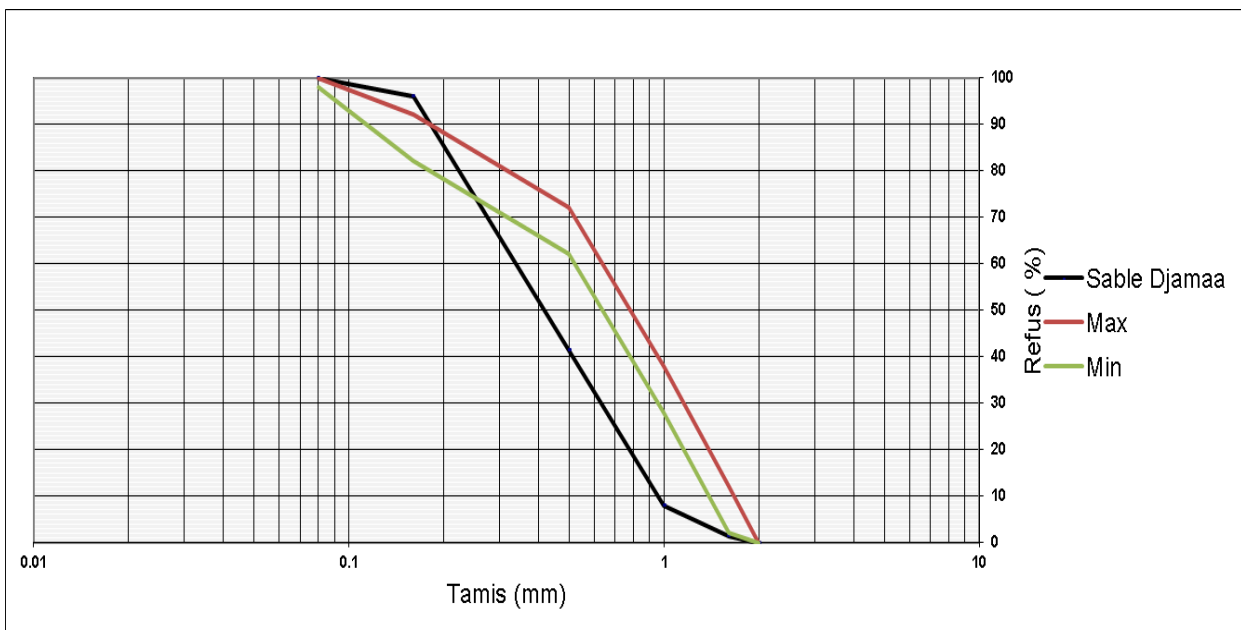
La granularité est exprimée par une série des tamis Courbe granulométrique qui donne la répartition de La dimension moyenne des grains, exprimée sous Forme de pourcentage du poids total du matériau. Elle est tracé en diagramme semi-logarithmique avec :

- En abscisse, le logarithme de la dimension de Ouvertures des tamis en valeurs croissantes
- En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau
- total de la fraction du sable dont les grains ont un

Diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse Correspondante (passant). On constate que la Courbe granulométrique est un élément Fondamental de la classification de matériau.

Sable A (Sable de la région) DJAMAA :

Tamis En (mm)	Refus partielle En (g)	Refus cumules En (g)	Refus cumulé en (%)	tamis cumules en (%)
2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1.60	19.90	19.90	1.35	98.65
1.00	98.70	118.60	8.04	91.96
0.50	491.80	610.40	41.38	58.62
0.16	806.70	1417.10	96.07	3.93
0.08	58.00	1475.10	100.00	0.00

Tableau II.9 :L'analyse granulométrique de sable A.**Figure II.2 : La courbe granulométrique de sable A**

Sable B (Sable de la région) TICH I :

Tamis En (mm)	Refus partielle En (g)	Refus cumules En(g)	Refus cumules en(%)	tamis cumules en (%)
2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1.60	4.90	4.90	0.49	99.51
1.00	18.80	23.70	2.37	97.63
0.50	172.70	196.40	19.67	80.33
0.16	797.10	993.50	99.50	0.50
0.08	5.00	998.50	100.00	0.00

Tableau II.10 :L'analyse granulométrie de sable B.

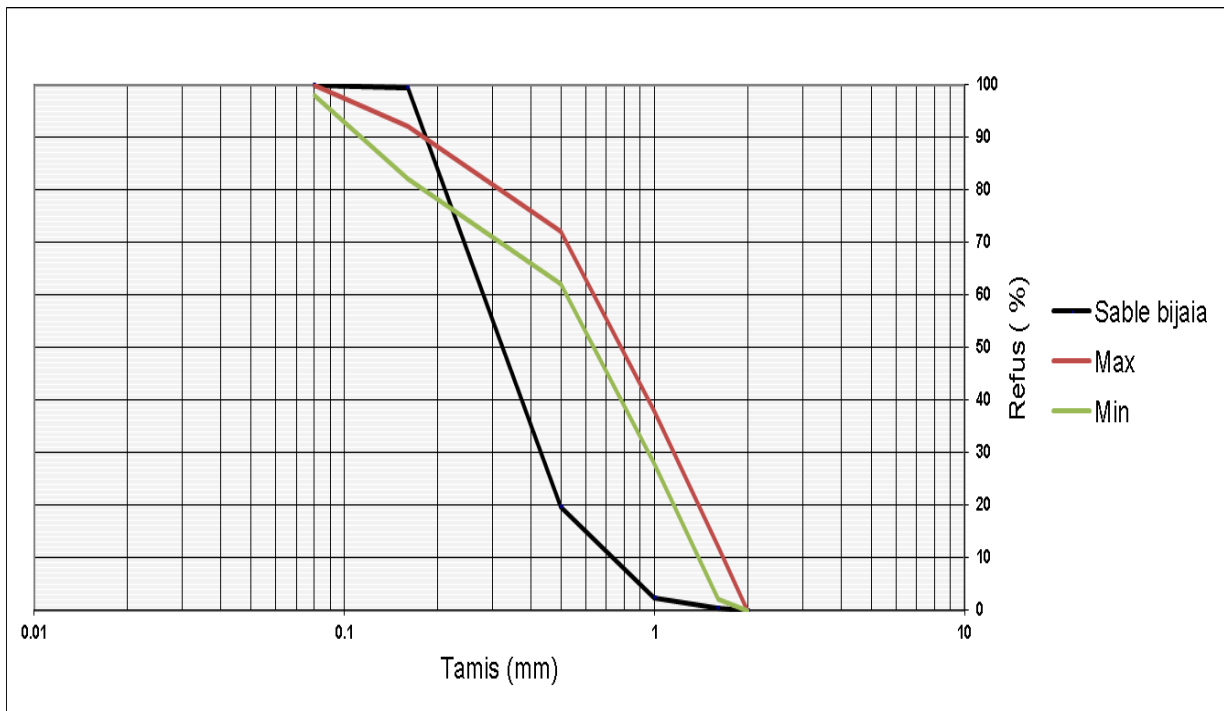
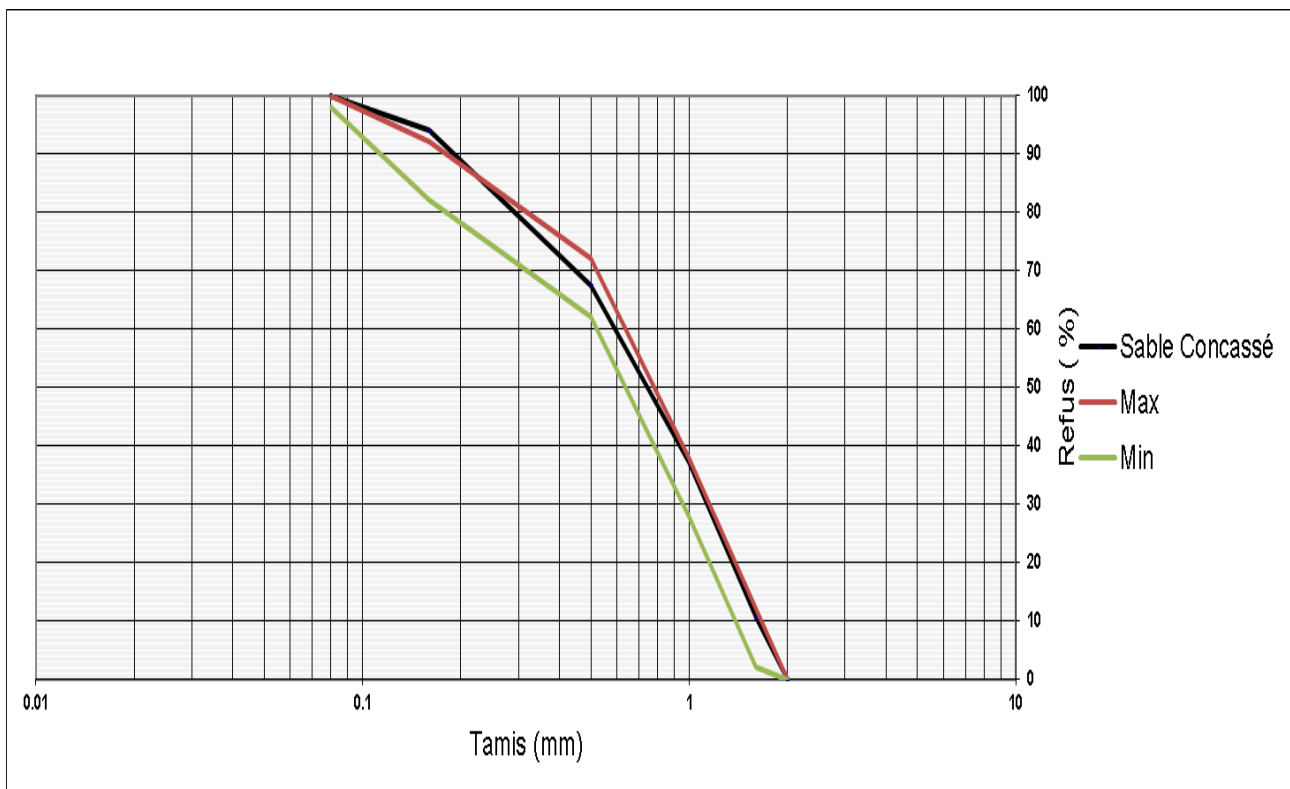


Fig II.3 : la courbe granulométrique de sable B.

Sable C (Sable concassé de Concasseur de COSIDER a la région de M'CIF):

Tamis en (mm)	Refus partielle en (g)	Refus cumules en (g)	Refus cumul en(%)	tamis cumules en (%)
2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1.60	103.80	103.80	10.52	89.48
1.00	262.80	366.60	37.16	62.84
0.50	298.60	665.20	67.43	32.57
0.16	262.30	927.50	94.02	5.98
0.08	59.00	986.50	100.00	0.00

Tableau II.11 :L'analyse granulométrique de sable C**Fig II.4: La courbe granulométrique de sable C.**

Sable D (Sable de la région TILLOLINE) :

Tamis En (mm)	Refus partielle En (g)	Refus cumules En (g)	Refus cumules En (%)	tamis cumules En (%)
2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1.60	0.00	0.00	0.00	100.00
1.00	2.10	2.10	0.27	99.73
0.50	140.60	142.70	18.44	81.56
0.16	494.20	636.90	82.32	17.68
0.08	136.80	773.70	100.00	0.00

Tableau II.12 :L'analyse granulométrie de sable D

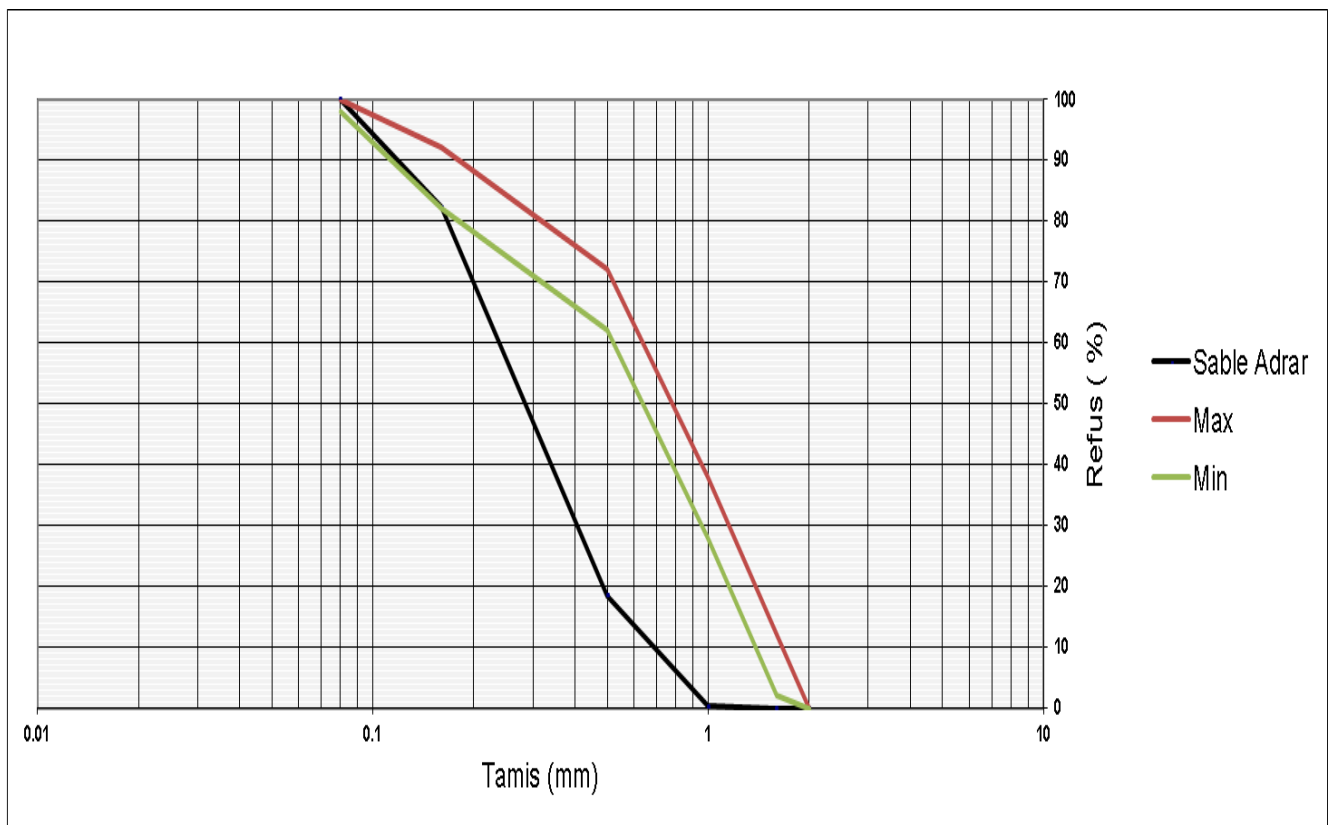


Fig II.5 : La courbe granulométrique de sable D

Sable E (Sable élaboré) :

Tamis En (mm)	Refus partielle En (g)	Refus cumules En(g)	Refus cumules en(%)	tamis cumules en (%)
2.00	0.00	0.00	0.00	100
1.60	112.00	112.00	8.27	91.73
1.00	355.00	467.00	34.46	65.54
0.50	450.00	917.00	67.68	32.32
0.16	252.00	1169.00	86.27	13.73
0.08	186.00	1355	100.00	0.00

Tableau II.13: L'analyse granulométrie de sable E.

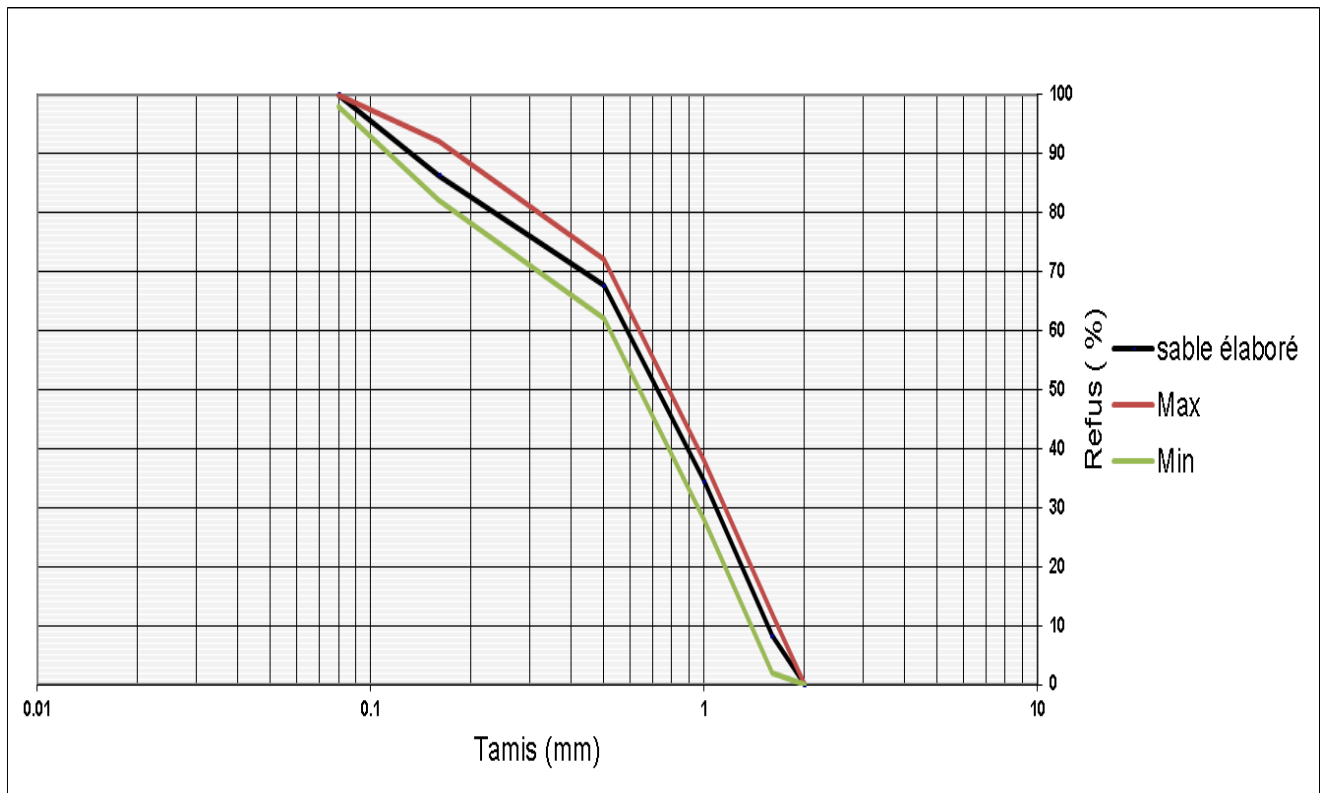


Figure II.6 : La courbe granulométrique de sable E

Sable F (Sable de la région TAMSA) :

tamis en (mm)	Refus partielle en(g)	Refus cumules en (g)	Refus cumules en (%)	tamis cumules en (%)
2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1.60	23.60	23.60	2.36	97.64
1.00	44.60	68.20	6.83	93.17
0.50	126.90	195.10	19.53	80.47
0.16	673.50	868.60	86.96	13.04
0.08	130.20	998.80	100.00	0.00

Tableau II.14: L'analyse granulométrique de sable F

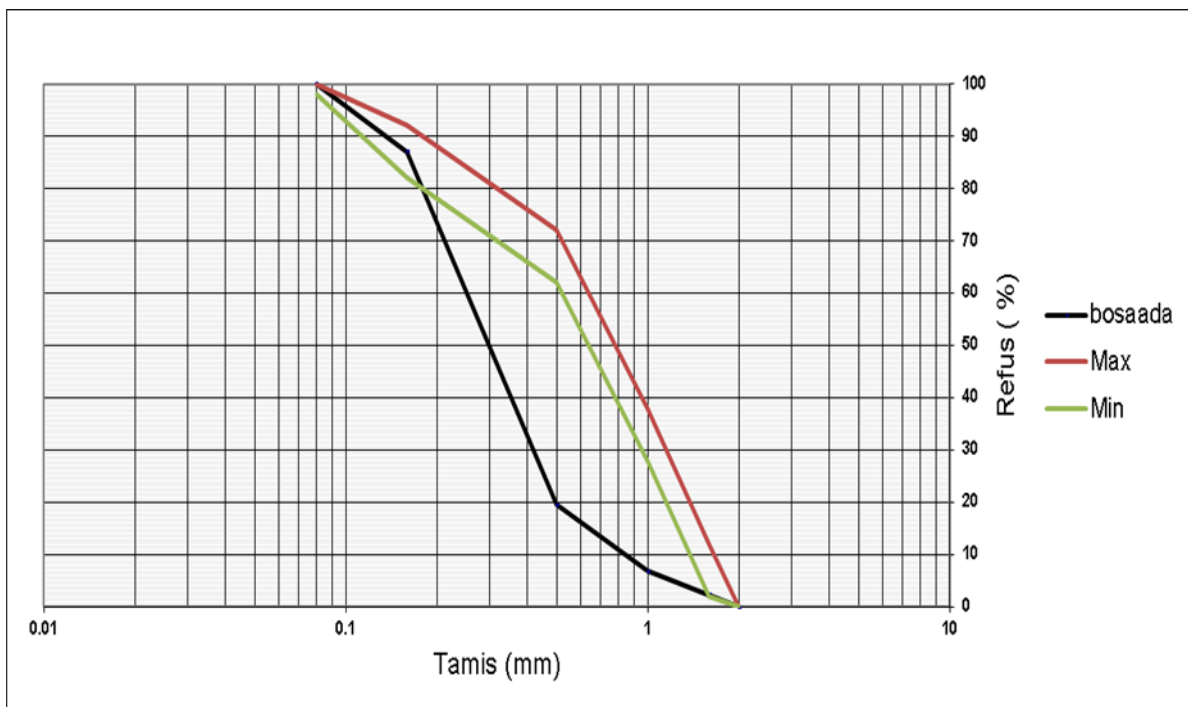


Figure II.7 : La courbe granulométrique de sable F

h- Module de finesse (Norme Européenne [EN 12620]) :

Le module de finesse (M_f) est une facture très importante qui nous permet de juger la qualité du sable, il est donné par la relation suivant :

$$M_f = \frac{\sum R_i}{100}$$

$$FM = \frac{1}{100} \sum \text{Refus cumulés en \% des tamis } \{ 0.125 - 0.25 - 0.50 - 1 - 2 - 4 \}$$

Quantité de sable	Modèle de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 2.5
Fin	1.5 à 2.0
Très fin	1.0 à 1.5

Tableau II .15 : Classement de sable.

Module de finesse pour chaque sable :

sable	Module de finesse	Classement
A	2.10	Moyen
B	2.07	Moyen
C	2.82	Gros
D	1.92	Fin
E	2.70	Gros
F	1.82	Fin

Tableau II .16 : Module de finesse pour différent des sables.

II.2.2.7 Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre 20 à 25 % de son poids). Si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3 %, on l'appelle sec.

Mode opératoire :

- ◆ Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (1500 g).
- ◆ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de 105 °C à 110 °C pendant 24 heures.
- ◆ Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids.

$$W = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

M_h : Poids du sable humide en (g)

M_s : Poids du sable sec en (g)

<i>N° d'essai</i>	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	300	298,78	0.41	0.38
2	300	298,96	0.35	
3	300	298,86	0.38	

Tableau II.17 : Teneur en eau du sable A.

<i>N° d'essai</i>	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	300	72.12	3.16	3.12
2	300	73.17	3.10	
3	300	73.17	3.10	

Tableau II.18 : Teneur en eau du sable B.

<i>N° d'essai</i>	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	300	119.05	1.52	1.47
2	300	126.05	1.38	
3	300	118.58	1.53	

Tableau II.19 : Teneur en eau du sable C

N° d'essai	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	300	84.27	2,16	2.26
2	300	98.68	2,09	
3	300	73.35	3,09	

Tableau II.20 : Teneur en eau du sable D

N° d'essai	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	300	84.27	2,56	1.2
2	300	98.68	2,04	
3	300	73.35	3,09	

Tableau II.21 : Teneur en eau du sable E

N° d'essai	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	300	84.27	2,56	2,56
2	300	98.68	2,04	
3	300	73.35	3,09	

Tableau II.22 : Teneur en eau du sable F**II. 2. 2. 8 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555**

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_2} \right) \times 100 [\%]$$

Où :

M_1 : La masse du matériau saturé d'eau en (g)

M_2 : La masse du matériau sec en (g)

N° d'essai	M_1 (g)	M_2 (g)	A (%)	A_{moy} (%)
1	300	223.88	0,34	0,36
2	300	254.24	0,18	
3	300	192.31	0,56	

Tableau II.23 : Degré d'absorption du sable A.

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	A(%)	A _{moy} (%)
1	300	291.26	0.03	0.02
2	300	294.11	0.02	
3	300	294.11	0.02	

Tableau II.24 : Degré d'absorption du sable B.

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	A(%)	A _{moy} (%)
1	300	61.98	3.84	3.77
2	300	77.32	2,88	
3	300	53.57	4,60	

Tableau II.25 : Degré d'absorption du sable C.

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	A(%)	A _{moy} (%)
1	300	127.66	1.35	1.34
2	300	129.31	1.32	
3	300	128.20	1.34	

Tableau II.26 : Degré d'absorption du sable D.

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	A(%)	A _{moy} (%)
1	300	61.98	1.35	1.34
2	300	77.32	1.32	
3	300	53.57	1.35	

Tableau II.27 : Degré d'absorption du sable E.

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	A(%)	A _{moy} (%)
1	300	307,98	2,66	2,83
2	300	308,66	2,88	
3	300	308,86	2,95	

Tableau II.28 : Degré d'absorption du sable F.

II.2.3. Analyse chimique de sable :**II.2.3.1. Analyse chimique de sable normalisé :**

Teneur en silice (% SiO ₂)	janvier-16	98,05		
Teneur alumine (% Al ₂ O ₃) ISO 29581-2	janvier-16	0,54		
Teneur fer (% Fe ₂ O ₃) ISO 29581-2	janvier-16	0,07		
Perte au feu 950 °C (EN 196-2)	janvier-16	0,16		
teneur P ₂ O ₅ % ISO 29581-2	janvier-16	0		

Tableau II.29 : Analyse chimique de sable normalisé.**II.2.3.2. Analyse chimique des sables locaux utilisés**

Code	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	CL	perte au feu
A	94.28	0.87	0.67	1.25	0.16	0.09	0.44	0.06	0.04	0.24	0.011	1.13
B	49.38	3.85	6.45	20	1	0.16	0.42	0.64	0.08	0.18	0.157	18
D	92.80	2.04	0.64	1.03	0.05	0.14	0.89	0.39	0.06	0.11	0.013	1.00
E	68.94	2.33	0.76	15.34	0.33	0.18	1	0.94	0.05	0.07	0.014	9.41
F	94.36	0.99	1.27	0.95	0.17	0.04	0.31	0	0.02	0.09	0.012	1.35

Tableau II.30 : Analyse chimique pour différent des sables.

II.3.Ciment :**II.3.1.caractéristique du ciment :**

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment Portland préparé au niveau de laboratoire physique de la cimenterie de LAFARGE HOLCIME de M'sila composé par le clinker et le gypse et l'ajout secondaire.

II.3.1.1.Caractéristique chimique :**- Analyses Chimiques des Ciments :**

Les compositions chimiques élémentaires du ciment sont données dans le tableau suivant :

Code	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	Perte Au feu	Total
CHAMIL	17.00	4.49	2.32	57.89	1.81	2.58	0.65	0.09	0.016	12.89	99.74
MATINE	19.00	5.10	3.16	59.75	1.85	2.70	0.64	0.09	0.018	9.56	101.87
MOKAOUEM	29.03	9.46	3.05	56.88	4.94	2.55	0.74	0.22	0.077	1.23	108.18
SARIE	18.53	4.54	3.19	61.69	2.09	2.24	0.66	0.11	0.016	4.91	97.98
CRS	21.29	3.76	4.86	62.10	1.64	2.35	0.52	0.09	0.017	1.28	97.91

Tableau II.31 : Analyses chimiques des ciments

-Analyses Minéralogiques DRX des Ciments :

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (DRX)

Code	Alite_Sum	Belite_beta	Alum-cubic	Alum_Sum	Ferrite	Lime	fCaO_XRD	Quartz	Langbeinite	Gypsum
CHAMIL	40.25	9.34	2.23	2.9	8.56	1.17	1.27	1.07	0.05	2.71
MATINE	41.39	16.21	2.13	2.64	9.33	0.91	0.96	1.09	0.05	2.41
MOKAOUEM	23.36	1.31	0	4.9	0.65	0.06	0.14	0.11	0.11	0.92
SARIE	59.28	13.57	2.52	2.7	12.39	0.13	0.37	0.21	0	0.15
CRS	50.7	27.93	0.98	2.02	14.15	0.48	1.02	0.05	0	0.32

Tableau II. 32 : Analyses minéralogiques DRX

II.3.1.2. Les caractéristiques physiques et mécaniques :

Les caractéristiques physiques et mécaniques de ciment sont:

a) Ciment anhydre (poudre)

1. Surface spécifique :

Objet :

Cette instruction a pour objet la détermination de la surface spécifique Blaine selon les spécifications de la norme européenne EN 196-6.

Principe :

La détermination de la Surface Spécifique (SSB) est une méthode relative, basée sur la perméabilité à l'air, découlant du temps nécessaire pour le passage d'un volume d'air donné à travers un lit compacté de ciment, de dimensions et de porosités spécifiées.

Cette méthode est fortement influencée par l'étalonnage et les opérateurs.

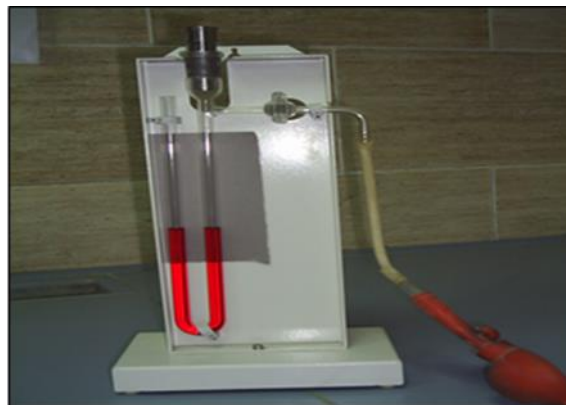


Fig.II.8 : Densimètre manuel

Caractéristiques physiques	CHAMIL	MATINE	MOKAOUEM	SARIE	CRS
Surface spécifique Blaine (Perméabilité Blaine) (cm ² /g)	4300	3700	3500	3800	5000

Tableau II.33 : Caractéristique physique du ciment

b) Ciment hydraté (pâte)

1-Consistance (Ouvrabilité)

▪ Objet :

Cette instruction a pour objet la détermination de la consistance normalisée de la pâte de ciment selon les spécifications de la norme européenne EN 196-3

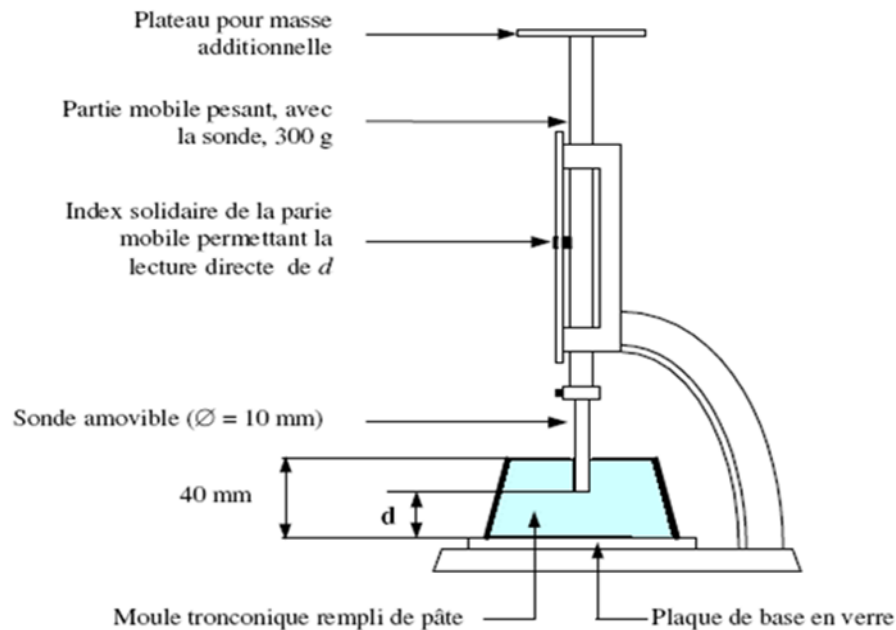


Fig.II.9. Schéma qui explique l'appareil de Vicat

▪ Principe de l'essai :

Dans cet essai, la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet de la vibration.

Code	E%
CHAMIL	28.6
MATINE	28.7
MOKAOUEM	32.0
SARIE	29.6
CRS	27.8

Tableau II.34 : Pourcentage E nécessaire pour hydratation de ciment.

2-Temps de prise :

Le temps de prise se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normale (24 à 30% d'eau) et conformément à la norme concernée (à l'aide de l'appareil de Vicat).

-Objet :

Cette instruction a pour objet la détermination du temps de prise du ciment selon les spécifications de la norme européenne EN 196-7.

- Calcul :

Le temps de début prise correspond à la lecture de 6 ± 3 mm noté à partir du temps zéro.

Le temps de fin de prise correspond à la lecture de 0,5 mm noté à partir du temps zéro.



Fig.II.10. Appareil de Vicat

Code	DP (min)	FP (min)
CHAMIL	180	230
MATINE	185	250
MOKAOUEM	200	335
SARIE	165	240
CRS	170	255

Tableau II.35 : Temps de pris.

3-Chaleur d'hydratation :

- Principe :

La méthode semi-adiabatique consiste à introduire un échantillon de mortier fraîchement préparé, dans un calorimètre afin de déterminer, d'après l'évolution de la température, la quantité

de chaleur dégagée. À une échéance donnée, la chaleur d'hydratation du ciment contenu dans l'échantillon est égale à la somme de la chaleur accumulée dans le calorimètre et de la chaleur dissipée vers le milieu ambiant pendant toute la durée de l'essai. L'échauffement du mortier est comparé à la température d'un échantillon inerte dans un calorimètre de référence. L'échauffement qui dépend principalement des caractéristiques du ciment est généralement compris entre 10 K et 50 K..

Code	Chaleur D'hydratation (j/g)
CHAMIL	296
MATINE	280
MOKAOUEM	270
SARIE	256
CRS	240

Tableau II.36 : Chaleur d'hydratation.

4- Essai de stabilité

-Objectif de l'essai :

L'essai consiste à mesurer l'augmentation de volume provoquée lors de la réaction d'hydratation par la présence de l'oxyde de calcium ou de magnésium contenu dans les ciments étudiés. Principe de l'essai.

L'essai consiste à faire accélérer la réaction d'hydratation par un traitement thermique de la pâte pour pouvoir observer une expansion éventuelle des cinq types de ciment testé. Equipement nécessaire. Une armoire humide maintenue à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et au moins 90% d'humidité relative. Une bouilloire dans laquelle les éprouvettes sont immergées et la température de l'eau est portée de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ jusqu'à ébullition en $3\text{h} \pm 5\text{mn}$. Deux moules en laiton élastique appelés "appareil le Chatelier". Ces moules sont fondus de façon à pouvoir s'ouvrir en cas d'augmentation de volume de la pâte.

Code	Expansion (mm)
CHAMIL	1.0
MATINE	0.5
MOKAOUEM	1.0
SARIE	1.0
CRS	0.5

Fig. II.11 : La stabilisation de défèrent des ciments

II.5. la confection des éprouvettes :

Pour la préparation des éprouvettes, nous avons procédé de la façon suivante :

- Préparer une série des moules des dimensions 4×4×16 cm (figure III.1a) convenables, avec la quantité du mortier ;



Fig II.12 : Les moules des mortiers.

- Huiler les moules et vérifier leurs serrages ;
- Placer les moules sur une table vibrante ;
- Remplir les moules par le mortier, l'exécuter en deux couches ;
- Compacter le mortier à l'aide d'une table vibrante (Figure III.18), en appliquant 120 secondes.

Il faut qu'elle soit bien arasée à l'aide d'une règle métallique et placée lentement sur la face du moule ;

- Conserver les moules dans la chambre d'humidité jusqu'au démoulage (Figure III.20) ;
- Démouler les moules après 24 heures de leur confection



Fig. II.13 : Table vibrante



Fig. II.14. Malaxeur



Fig. II.15: Armoire d'humidité

Chapitre

3

RESULTATS ET INTERPRITATION

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1.Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats sous forme des tableaux et sous forme des graphes. Tous les propriétés physico-chimique étudiés et mentionnés précédemment seront analysés et interprétés. Le travail préliminaire consiste à choisir les sables qui présentent une bonne qualité d'être utilisé dans les matériaux cimentaires sans aucune nuisibilité.

Plan de travail de notre choix est indiqué dans ce schéma :

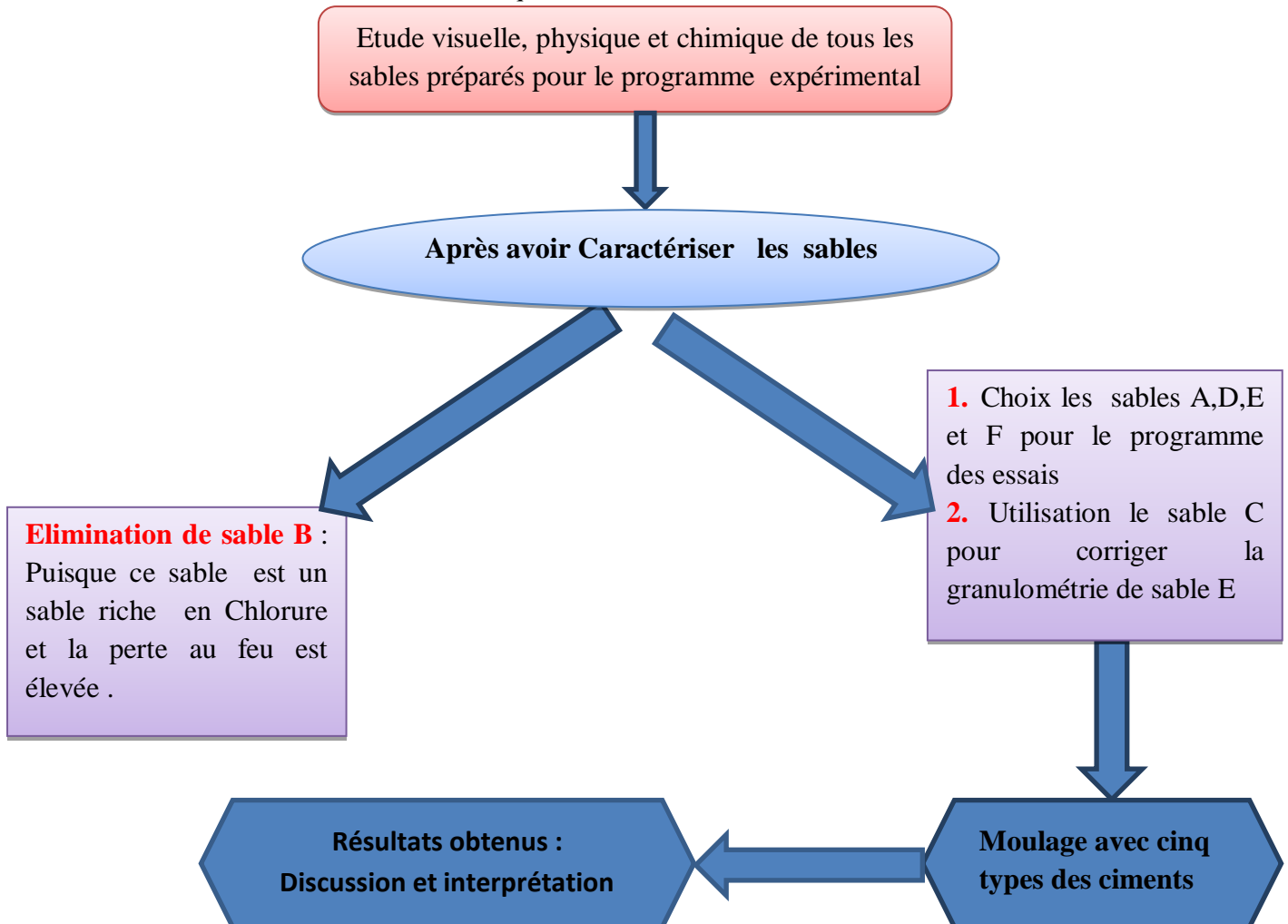


fig .III.1 : Schéma explicative du plan expérimental

III.2.Les matériaux utilisés :

- a- Les sables utilisés : A, C, D, E, F.
- b- Les Ciments utilisés :
 - CHAMILE : CPJ – CEM II/B 32.5 N.
 - SARIAA : CPJ-CEMII/A-L 52,5 N.

- MOKAOIME01 : **CRS-CEM III/A42.5N – ES.**
- MOKAOIME02 : **CRS-CEM I/42.5N SR3.**
- MATINE : **CPJ – CEM II/B 42.5 N.**

c- L'eau distillée

III.3.Présentation des résultats :

Des mortiers sont confectionnés à base des sables sélectionnés (A ,C,D,E et F) . Ces sables sélectionnés ont besoin à des corrections granulaires. L'ajustage granulométrique consiste à reconstituer la granularité des sables testés de manière à ce qu' elle épouse l'allure de la courbe moyenne du fuseau de la norme.

Tous les essais sur mortiers sont été effectués conformément à la norme européenne . Les mêmes normes ont été utilisés pour la composition des mortiers, leurs malaxages, les moulages et les démoulages des éprouvettes .C'est à dire, nous avons au début commencer à formuler des mortiers d'études en adaptant les dosages d'un mortiers normalisé (en masse).

- 1 : de ciment .
- 3 : de sable sec.
- 0.5 : E/C

III.4.Quantité nécessaire :

Ciment : 450g.

Sable : 1350g.

L'eau : 225g.

Les propriétés étudiés ont été classées dans des tableaux en deux catégories :

- Les propriétés physiques.
- Les propriétés mécanique.

III.4.1.Les propriétés physiques :

a-La masse volumique :

On a déterminé la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissé à l'air libre pendant 20 minutes pour séchage. Juste avant l'écrasement aux différents âges, on a déterminé la masse volumique en pesant l'éprouvette.

La masse volumique est donné par la relation suivante :

$$\rho=M/V$$

Ou ; M : masse de l'éprouvette.

V : volume de l'éprouvette.

Avec: volume de l'éprouvette = $(4 \times 4 \times 16) = 256 \text{ cm}^3$

Les résultat sont regroupés dans le tableau suivant :

Mortier avec sable	ρ en 2 jours (g/cm^3)	ρ en 7 jours (g/cm^3)	ρ en 14 jours (g/cm^3)	ρ en 28jours (g/cm^3)
Témoin	2.42	2.46	2.51	2.52
A	2.33	2.35	2.37	2.38
D	2.24	2.27	2.30	2.30
E	2.44	2.46	2.46	2.48
F	2.26	2.32	2.35	2.35

Tableau III.1 : Masse volumique des différents mortiers

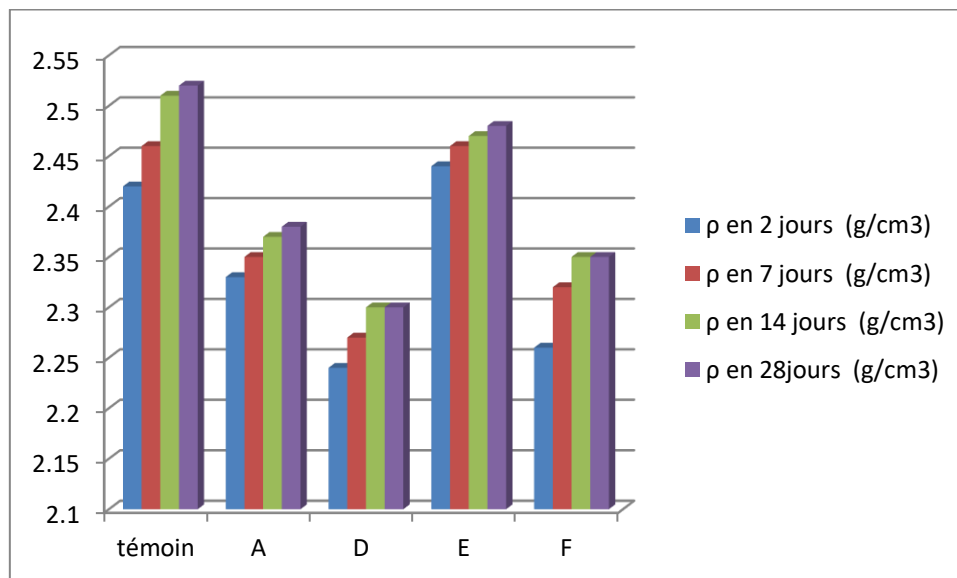


Fig. III.2 :Masse volumique des différents mortiers

Discussion :

La masse volumique des éprouvettes ont été déterminée après avoir sécher les éprouvettes pendant au moins 20mn. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant ci-dessus et représentés par les figure .III.2.

D'après ces résultats on constat que

- Une différence significative de masse volumique apparente entre les différents mortier à base des différents sables utilisés.
- Le mortier à base de sable normalisé donne la grand masse volumique apparente qui dépasse 2.5g/cm^3 à 28 jours.

- Le mortier à base de sable D donne une masse volumique apparente la plus petite qui est moins de 2.3g/cm^3 .

III.4.2. Les propriétés mécaniques :

a-Résistance à la traction par flexion et à la compression :

❖ *But de l'essai :*

Le but est de déterminer la résistance à la compression du mortier.

Les essais sont souvent effectués sur les éprouvettes prismatiques de $4 \times 4 \times 16$ cm conservés dans l'eau à 20°C . Les éprouvettes sont rompues en traction par flexion puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme logarithme du temps (entre 1 et 28 jours).

❖ *Objet :*

Cette instruction a pour objet la détermination des résistances mécaniques à la compression sur mortier de ciment, selon les spécifications de la norme européenne EN 196-1.

❖ *Principe de l'essai :*

L'essai consiste à calculer les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est le sable ; la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment.

❖ *Equipement nécessaire :*

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme EN 196-1. Il est énuméré ci-dessous. Une salle maintenue à une température de $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 %. Une chambre ou une armoire humide maintenue à une température de $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ et à une humidité relative supérieure à 90 %. Des moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée $4\text{cm} \times 4\text{cm}$ et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés "éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ "). Une table vibrante permettant d'appliquer 120 second aux moles.

Une machine d'essais de résistance à la flexion permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN avec une vitesse de mise en charge de $50 \text{ N/s} \pm 10\text{N/s}$. La machine doit être pourvue d'un dispositif de flexion tel que celui schématisé Une machine d'essais à la compression permettant d'appliquer des charges jusqu'à 300 KN avec une vitesse de mise en charge de $2400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/s}$. Cette machine est équipée d'un dispositif de compression tel que celui schématisé sur la (Figure III.3).

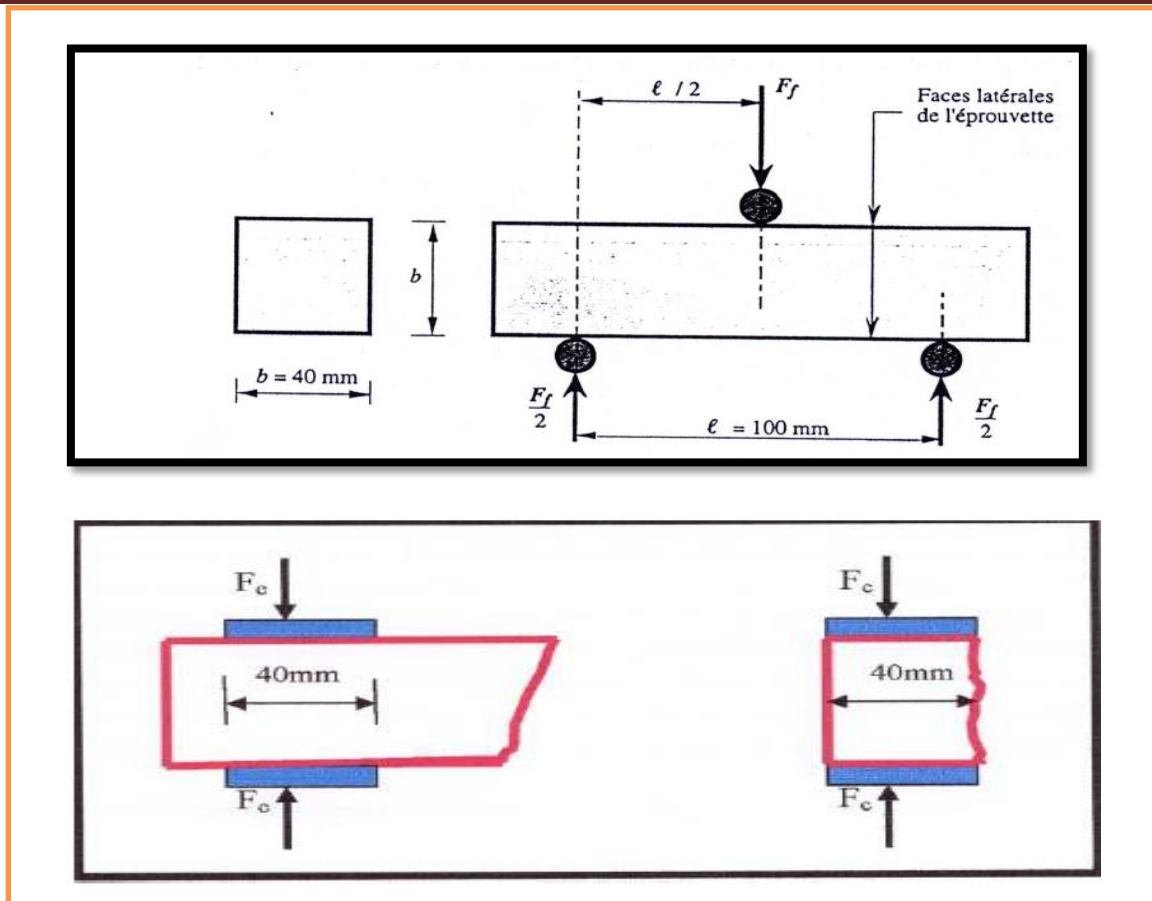


Fig. III.3 : Epreuve de la résistance à la traction par flexion et à la compression.

▪ Expression des résultats :

On adopte pour la charge de rupture, la charge maximale enregistrée au cours de l'essai et on calcule la résistance (R) par la relation suivante :

Traction :

$$R_f = (1.5 \times F_f \times l) / b^3$$

Compression :

$$R_c = F/S$$

Où :

F : est la charge maximale (en KN).

S : est la surface de compression de l'éprouvette exprimée en millimètre carré.

R : la résistance exprimée en MPa.

Type des ciments	Sable Normalisé				Sable A				Coefficient
	2j	7j	14j	28j	2j	7j	14j	28j	
CHAMIL	3.50	5.30	6.00	6.40	3.10	4.30	5.10	5.70	0.94
	17.00	28.00	32.00	36.80	15.50	25.40	30.00	34.50	
MATINE	4.50	6.60	6.80	7.10	3.50	5.60	5.80	6.50	0.93
	21.90	35.60	41.57	47.80	17.65	30.00	38.70	44.50	
MOKAOUEM	2.60	6.30	7.20	8.80	2.20	5.20	6.80	7.10	0.95
	11.00	26.50	42.43	48.80	9.80	31.14	40.17	46.20	
SARIE	5.80	7.50	8.00	8.40	4.80	6.50	7.00	7.80	0.94
	29.40	45.20	51.13	58.80	25.60	37.28	48.09	55.30	
CRS	5.80	7.50	8.00	8.40	4.40	5.30	6.70	7.30	0.91
	21.50	33.00	48.52	55.80	19.80	34.24	44.17	50.80	

Tableau III.2:La résistance à la compression et la traction des mortiers B et témoin par les différents types de ciment.

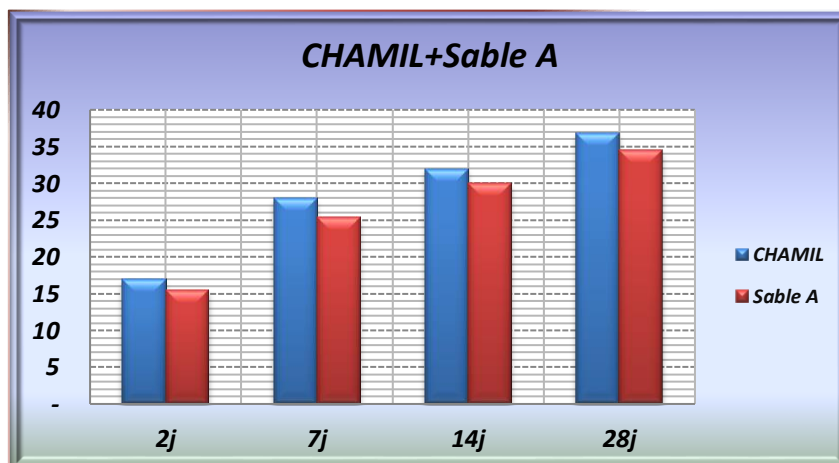


Fig.III.4 : La résistance à la compression de mortier à base de sable A et le mortier de référence (normal) en utilisant le ciment CHMIL.

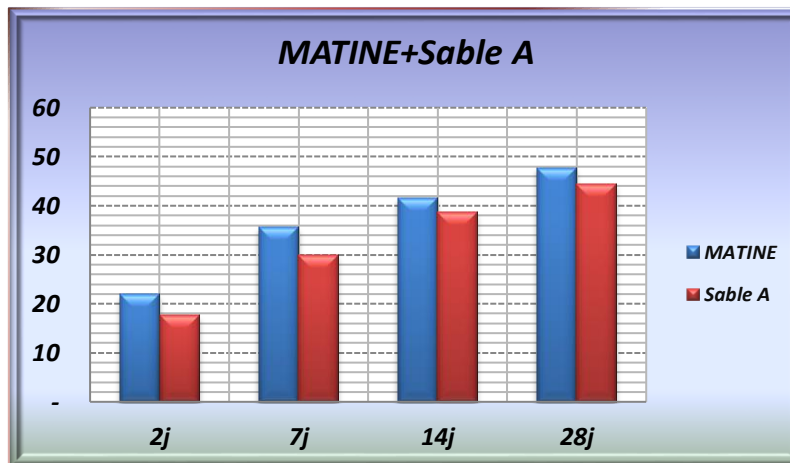


Fig.III.5 : La résistance à la compression de mortier à base de sable A et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment MATINE.

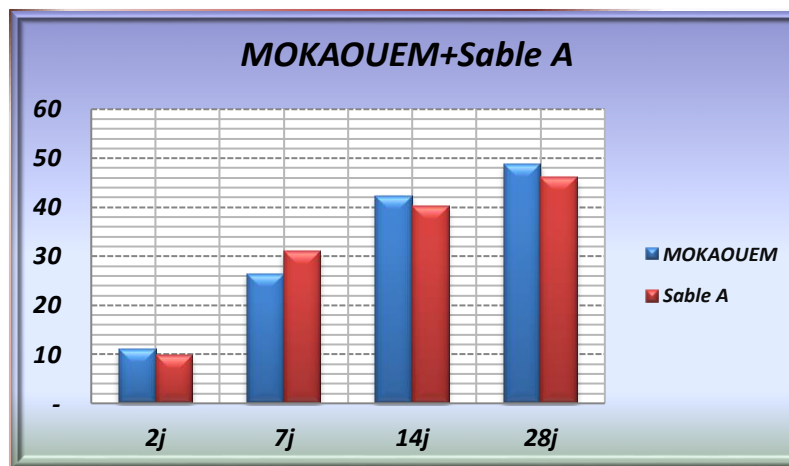


Fig.III.6 : La résistance à la compression de mortier à base de sable A et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment MOKAOUEM.

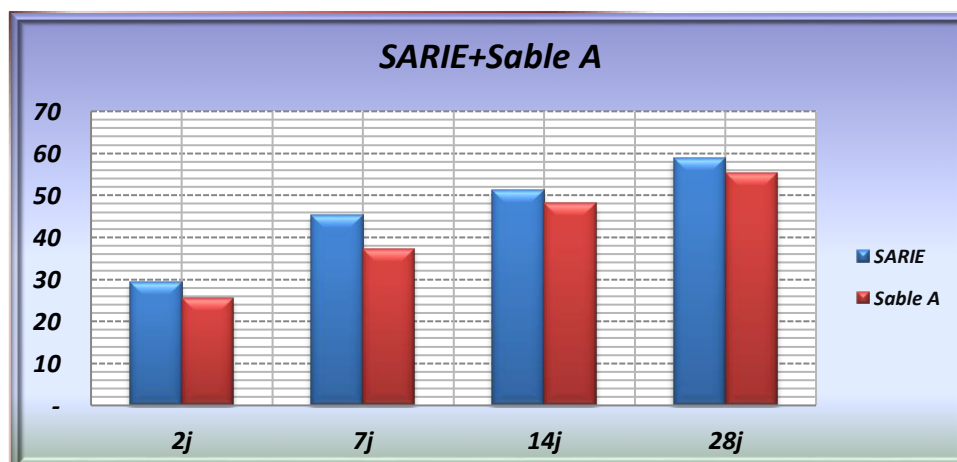


Fig.III.7: La résistance à la compression de mortier à base de sable A et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment SARIE.

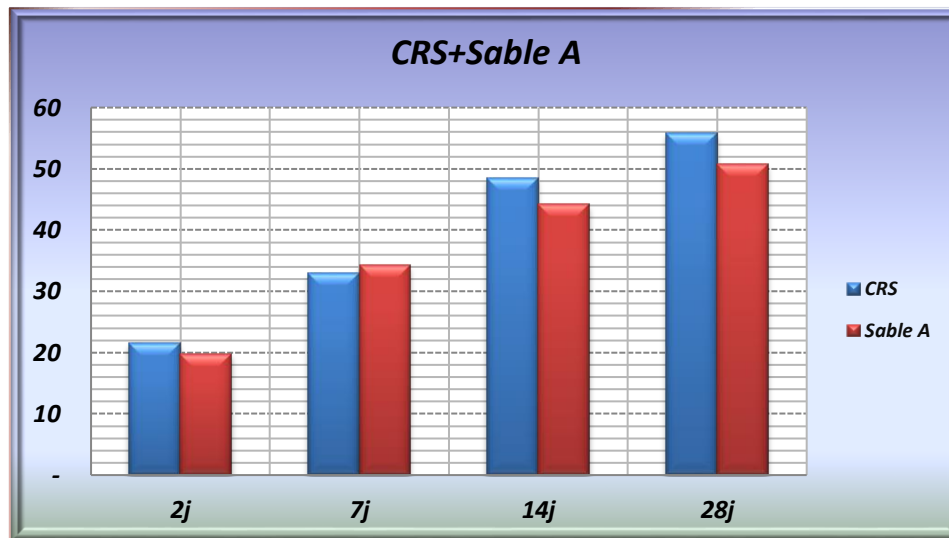


Fig.III.8 : La résistance à la compression de mortier à base de sable A et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CRS.

INTERPRETATION :

a) Avec le ciment Chamil :

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III.2 et représentés dans la figure III.4.

Ces résultats représentent les essais sur éprouvettes de mortier confectionnés par le ciment Chamil comme liant et le sable A (sable Djamaa) comme charge. Ces résultats sont ensuite comparés avec les résultats des mortier de référence (mortier normalisé avec ciment Chamil).

D'après ces résultats, on constate que le comportement d'évolution de la résistance est le même dans les deux types des mortiers (Augmentation au jeune âge).

La résistance caractéristique à 28 jours pour le mortier à base de sable A est de 34.5 MPa .Alors, qu'avec un mortier normalisé, la résistance est de 36.80 MPa. Ceci veut dire que la résistance d'un mortier à base de sable A est inférieure par 6.25% . ceci nous conduit à adapter que le sable A ne peut pas considéré comme un sable normale.

b)Avec le ciment MATINE :

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III.2 et représentés dans la figure III.5 .

D'après ces résultats , on constate que les deux mortiers se comportent de même manière en ce concerne l'évolution de la résistance en fonction du temps de durcissement.

A l'âge 28 jours , le mortier avec sable normalisé atteint une résistance de 47.80MPa, alors que le mortier avec le sable A atteint une résistance de 44.50 MPa, ce qui montre que le sable A est un bon sable et pas loin d'être un sable normal.

c) Avec le ciment MOKAOUEM

le sable A est aussi utilisé pour confection des éprouvettes d'essai (4*4*16) avec le ciment MOKAOUEM comme liant.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.2 et illustrés par la figure.III.6.

D'après ces résultats, on constate que la résistance en compression augmente avec le temps dans les deux mortiers (mortiers de référence et le mortiers de ciment MOKOUEM).

Le coefficient de corrélation entre les deux résistances à 28 jours est de 0.95 : ce qui nous permet de dire que le sable A est un bon sable qui rapproche au sable normale.

d) Avec le ciment SARIE et CRS :

Les résultats obtenus , après avoir tester les mortiers confectionnés à partir de sable A en utilisant le ciment SARIE et aussi avec le ciment CRS, montrent bien que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation de temps de durcissement et avec le même comportement.

A 28 jours la résistance à la compression d'un mortier à base de ciment SARIE et le sable A atteint 55.30 MPa, alors qu'avec le même ciment et un sable normalisé, la résistance R_{c28} est arrivé à 58.80MPa.

Conclusion sur le sable A avec différent ciment :

D'après les essais réalisés avec le sable A, on constate que :

- Le sable A qui est un sable siliceux et gros avec un module de finesse égal à 2.07 présente un bon sable qui se rapproche du sable normalisé .Le coefficient de corrélation entre ce sable et le sable normalisé est de 0.93 ($R_{CA} = 0.93 R_{c \text{ témoin}}$)

Type des ciments	Sable Normalisé				Sable D				Coefficient
	2j	7j	14j	28j	2j	7j	14j	28j	
CHAMIL	3.50	5.30	6.00	6.40	3.00	4.10	4.80	5.00	0.81
	17.00	28.00	32.00	36.80	12.60	20.40	27.30	29.68	
MATINE	4.50	6.60	6.80	7.10	3.20	5.40	5.60	6.10	0.82
	21.90	35.60	41.57	47.80	14.20	24.60	31.70	36.59	
MOKAOUEM	2.60	6.30	7.20	8.80	3.00	5.10	6.50	7.12	0.81
	11.00	26.50	42.43	48.80	11.04	26.50	33.20	37.40	
SARIE	5.80	7.50	8.00	8.40	4.50	6.40	6.80	7.30	0.81
	29.40	45.20	51.13	58.80	18.60	34.10	42.20	45.06	
CRS	5.80	7.50	8.00	8.40	4.20	5.10	6.60	7.20	0.83
	21.50	33.00	48.52	55.80	25.04	29.30	37.80	42.36	

Tableau III.3 : La résistance à la compression et la traction des mortiers D et témoin par les différents types de ciment.

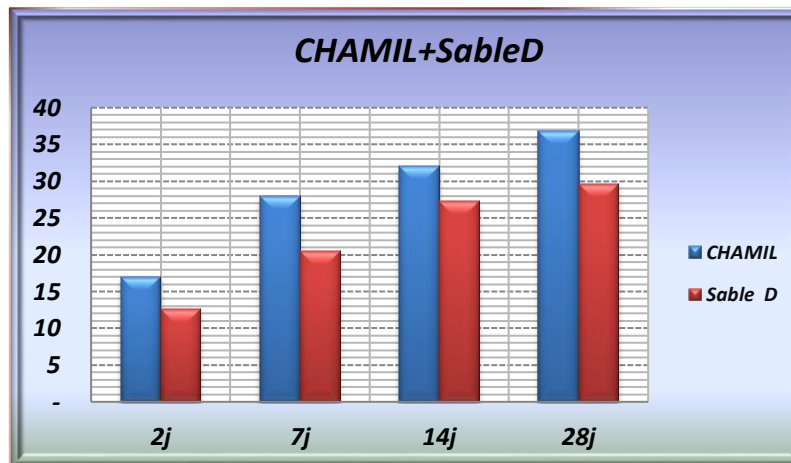


Fig.III.9 : La résistance à la compression de mortier à base de sable D et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CHAMIL.

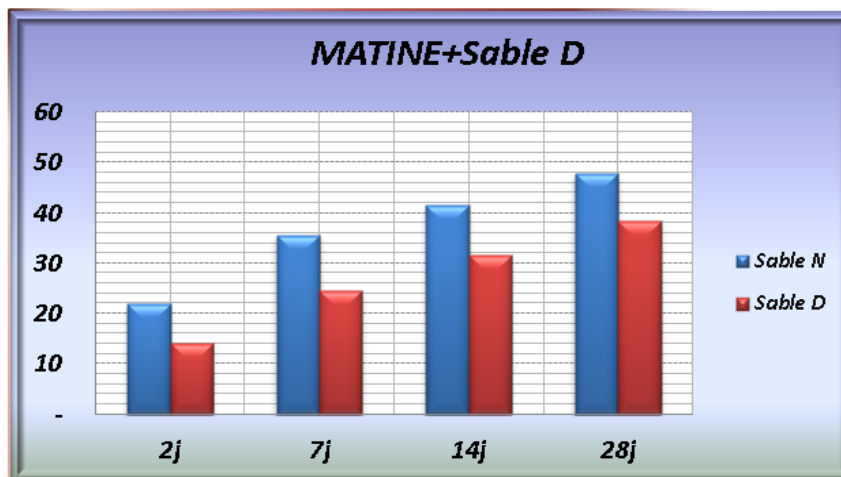


Fig.III.10 : La résistance à la compression de mortier à base de sable D et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment MATINE.

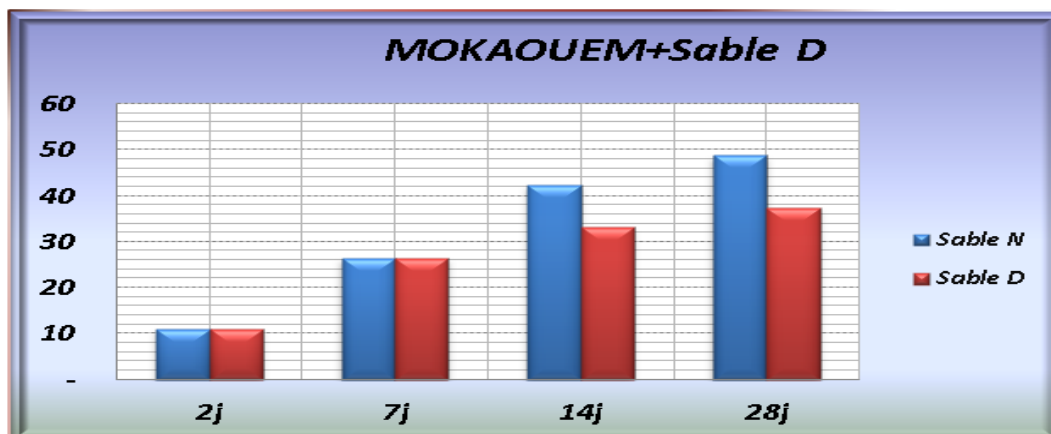


Fig.III.11 : La résistance à la compression de mortier à base de sable D et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CRS.

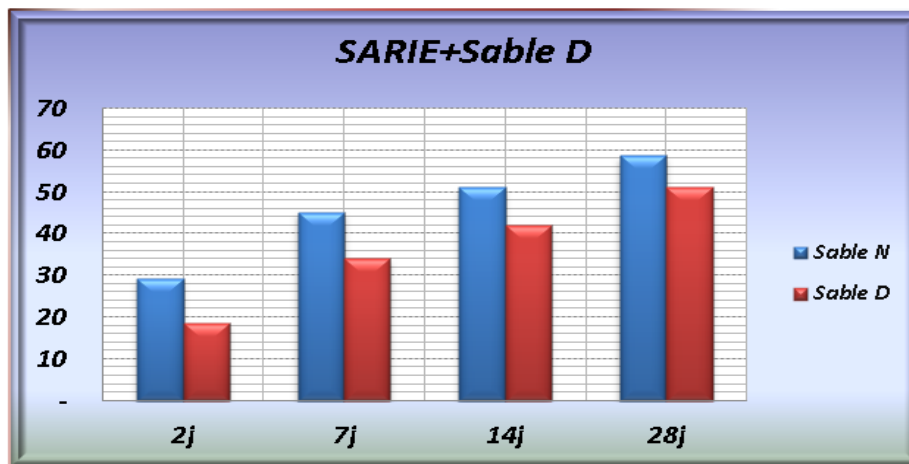


Fig.III.12 : La résistance à la compression de mortier à base de sable D et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment SARIE.

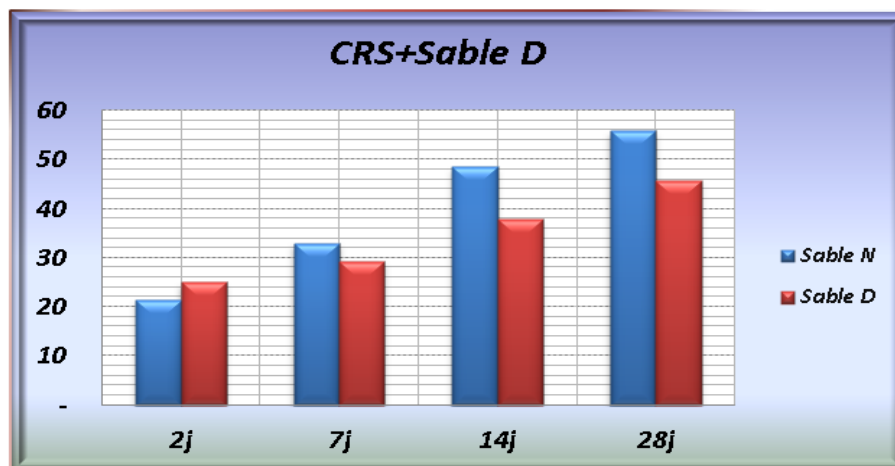


Fig.III.13 : La résistance à la compression de mortier à base de sable D et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CRS.

Interprétation :

a) Avec le ciment CHAMIL :

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III.3 et représentés dans la figure III.9.

Ces résultats représentent les essais sur éprouvettes de mortier confectionné à base du ciment CHAMIL comme liant et le sable D (sable TILLOULINE) comme charge. Les résultats obtenus sont ensuite comparés avec les résultats de mortier de référence (mortier normalisé avec ciment CHAMIL).

D'après ces résultats, on constate que le comportement d'évolution de la résistance est le même dans les deux types des mortiers (Augmentation au jeune âge).

Il est bien constaté que la résistance caractéristique à 28 jours pour le mortier à base du sable D est de 29.68 MPa . Alors qu' avec un mortier normalisé la résistance est de 36.80 MPa. Ceci veut dire que la résistance d'un mortier à sable A est inférieure par 19.34% . le point tiré de cette comparaison est que le sable A ne peut pas être considéré comme sable normale.

b)Avec le ciment MATINE :

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III.3 et représentés dans la figure III.10.

D'après ces résultats , on constate que les deux mortiers se comportent de même manière en ce concerne l'évolution de la résistance avec le temps de durcissement, comme il est remarqué à la figure III.11.

A l'âge de 28 jours , le mortier à base de sable normalisé atteint une résistance de 47.80 MPa, alors que le mortier à base de sable D atteint une résistance de 36.59MPa. Ce qui montre que le sable D est un bon sable et pas loin d'être un sable normal.

c)Avec le ciment MOKAOUEM

Le sable D est aussi utilisé pour confection des éprouvettes d'essai (4*4*16) avec le ciment MOKAOUEM comme liant.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.3 et illustrés par la figure.III.11.

D'après ces résultats, on constate que la résistance en compression augmente avec le temps de durcissement pour les deux mortiers (mortiers de référence et le mortier à base de sable D avec le ciment MOKOUEM comme liant).

Le coefficient de corrélation entre les deux résistances à 28 jours est de 0.81 . Ceci nous permet de dire que le sable D est un sable acceptable pour la construction mais loin d'être proche au sable normale.

d)Avec le ciment SARIE et CRS :

Les résultats obtenus après avoir testé les mortier confectionnés à base de sable D en utilisant le ciment SARIE et aussi avec le ciment CRS , montrent bien que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation de temps de durcissement et avec le même comportement.

A 28 jours la résistance à la compression d'un mortier à base de ciment SARIE comme liant et le sable D comme charge atteint 45.06 MPa, alors qu'avec le même ciment et un sable normalisé, la résistance R_{c28} de mortier est arrivée à 58.80MPa.

Conclusion sur le sable D avec différent ciment :

D'après les essais réalisés avec le sable D, on constate que :

- Le sable D qui est un sable siliceux et gros avec un module de finesse égal à 1.92 présente un bon sable qui peut être utilisé dans le domaine de la construction. Le coefficient de corrélation qui est de 0.82 ($R_{CD} = 0.82 R_{c \text{ témoin}}$) confirme que ce sable est un sable utilisable dans la construction mais loin d'être un sable normal selon les règles de l'art.

Type des ciments	Sable Normalisé				Sable E				coefficient
	2j	7j	14j	28j	2j	7j	14j	28j	
CHAMIL	3.50	5.30	6.00	6.40	3.10	4.30	5.10	5.70	0.94
	17.00	28.00	32.00	36.80	16.50	25.40	30.00	34.50	
MATINE	4.50	6.60	6.80	7.10	3.50	5.60	5.80	6.50	0.93
	21.90	35.60	41.57	47.80	17.65	30.00	38.70	44.50	
MOKAOUEM	2.60	6.30	7.20	8.80	2.20	5.20	6.80	7.10	0.95
	11.00	26.50	42.43	48.80	9.80	31.14	40.17	46.20	
SARIE	5.80	7.50	8.00	8.40	4.80	6.50	7.00	7.80	0.94
	29.40	45.20	51.13	58.80	25.60	37.28	48.09	55.30	
CRS	5.80	7.50	8.00	8.40	4.40	5.30	6.70	7.30	0.94
	21.50	33.00	48.52	55.80	19.80	34.24	44.17	52.20	

Tableau III.4 : La résistance à la compression et la traction des mortiers à base sable et sable témoin par les différents types du ciment.

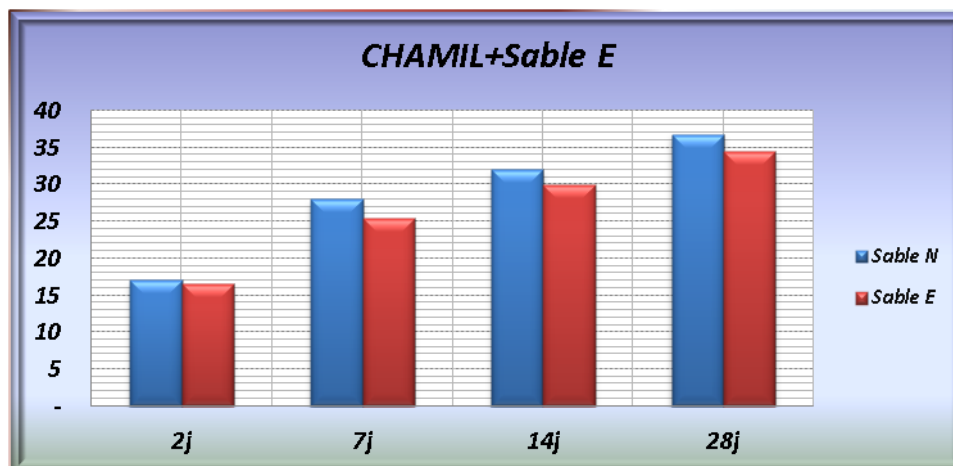


Fig.III.14 : La résistance à la compression de mortier à base de sable E et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CHAMIL.

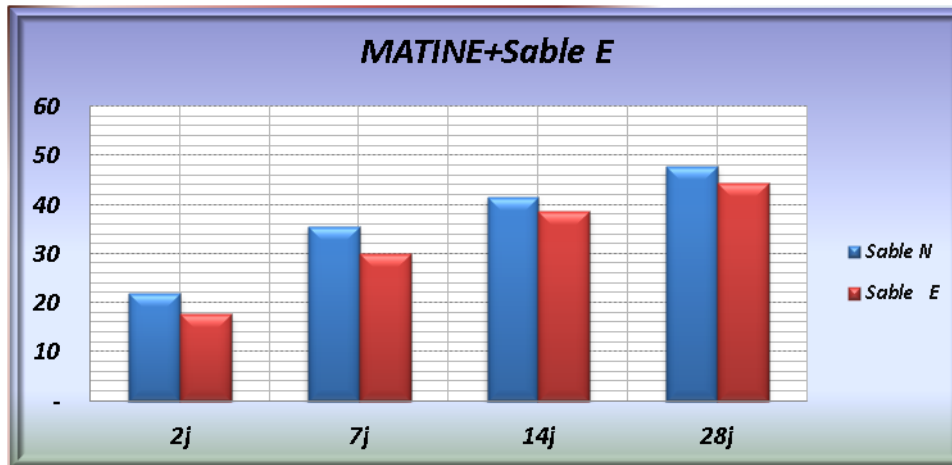


Fig.III.15 : La résistance à la compression de mortier à base de sable E et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment MATINE.

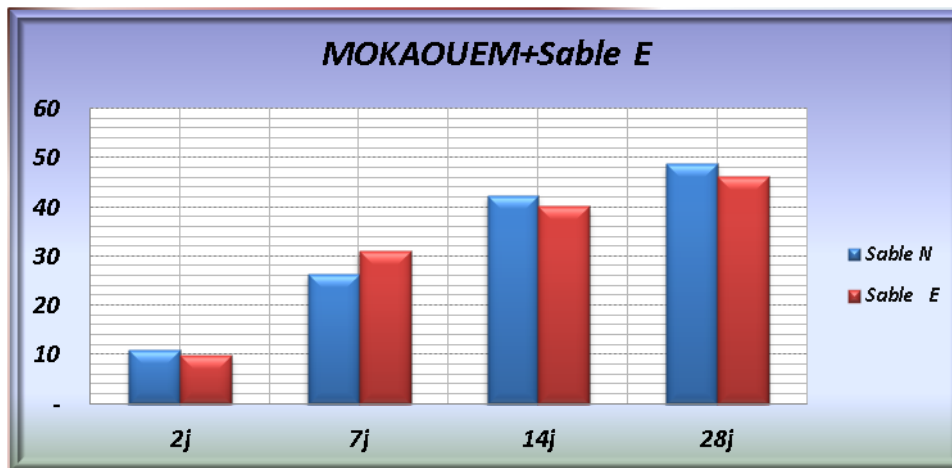


Fig.III.16 : La résistance à la compression de mortier à base de sable E et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment MOKAOUM.

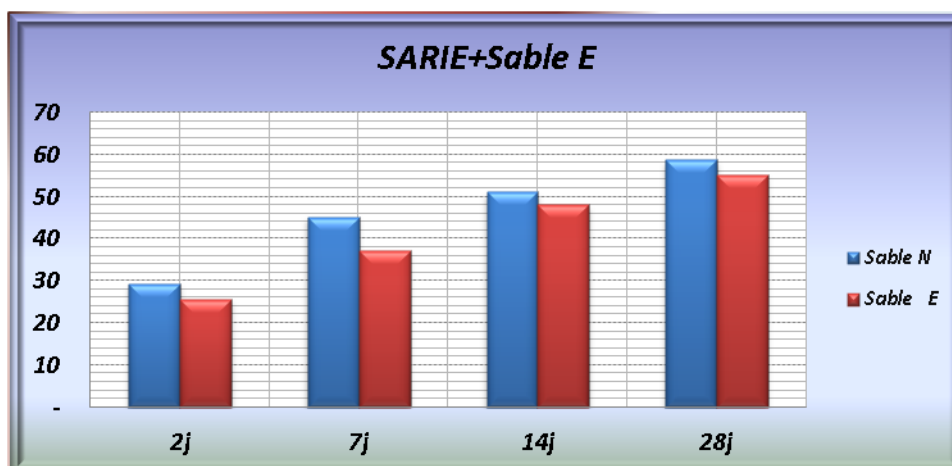


Fig.III.17 : La résistance à la compression de mortier à base de sable E et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment SARIE.

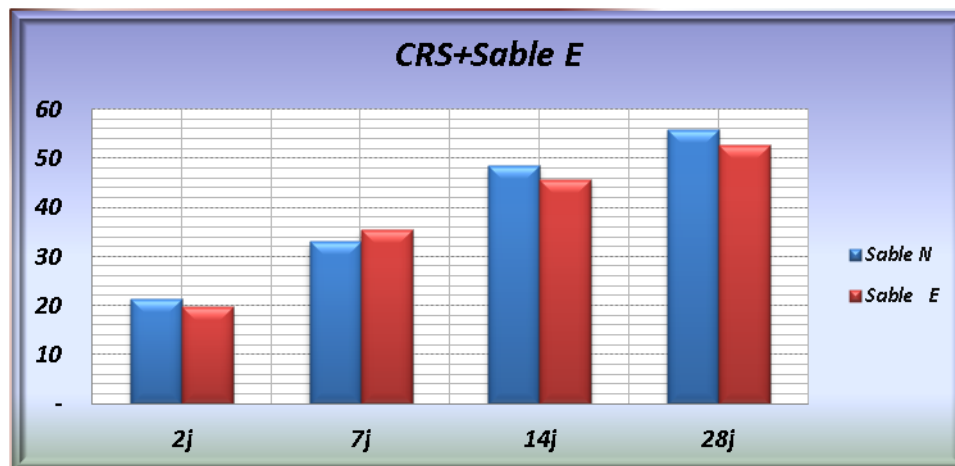


Fig.III.18 : La résistance à la compression de mortier à base de sable E et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CRS.

Interprétation :

Les éprouvettes confectionnés à base de sable élaboré (Sable E) sont formulés, mises en place et conservés dans les mêmes conditions que les précédents mortiers. Après avoir testé les résultats sont rapportés dans le tableau III.4 et illustré dans les figures III.(14,15,16,17,18).

D'après cette étude sur le sable E , il est bien constaté que le sable E élaboré est un sable siliceux et gros et se rapproche du sable témoin . Sa granulométrie montre que l'allure de sa courbe granulométrique entre dans le fuseau de référence (sable normalisé) . Mais, d'après les essais mécaniques réalisés , on a constaté que la résistance mécanique est inférieure à celle de mortier base de sable témoin. La seule explication pour cette diminution d'après les résultats des essais sur les différents sables est que le sable E contient moins de silice par rapport au sable normalisé , les formes des granulats et la perte au feu peuvent être considérés comme des facteurs qui influents négativement sur la résistance mécanique. Mais avec le coefficient de corrélation $R_{c E} = 0.94R_{c \text{ témoin}}$, il est clair qu'avec un traitement légère , le sable E peut être un sable équivalent au sable normale

Type des ciments	Sable Normalisé				Sable F				coefficient
	2j	7j	14j	28j	2j	7j	14j	28j	
CHAMIL	3.50	5.30	6.00	6.40	3.01	4.18	5.10	5.70	0.52
	17.00	28.00	32.00	36.80	7.69	13.08	16.88	19.41	
MATINE	4.50	6.60	6.80	7.10	3.50	5.60	5.80	6.50	0.53
	21.90	35.60	41.57	47.80	13.17	17.00	21.93	25.22	
MOKAOUEM	2.60	6.30	7.20	8.80	2.20	5.20	6.80	7.10	0.53
	11.00	26.50	42.43	48.80	10.20	17.34	22.37	25.73	
SARIE	5.80	7.50	8.00	8.40	4.80	6.50	7.00	7.80	0.53
	29.40	45.20	51.13	58.80	12.29	20.90	26.96	31.00	
CRS	5.80	7.50	8.00	8.40	4.40	5.30	6.70	7.30	0.54
	21.50	33.00	48.52	55.80	11.66	19.83	25.58	30.12	

Tableau III.5 : La résistance à la compression et la traction des mortiers F et témoin par les différents types de ciment.

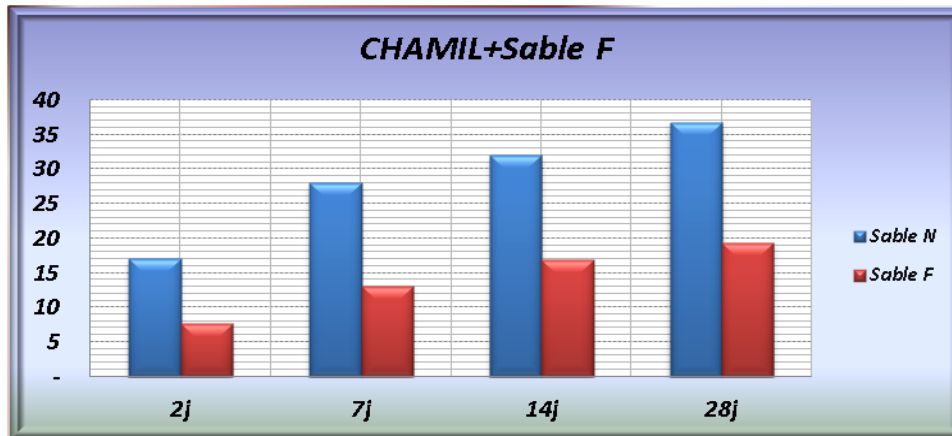


Fig.III.19 : La résistance à la compression de mortier à base de sable F et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CHAMIL.

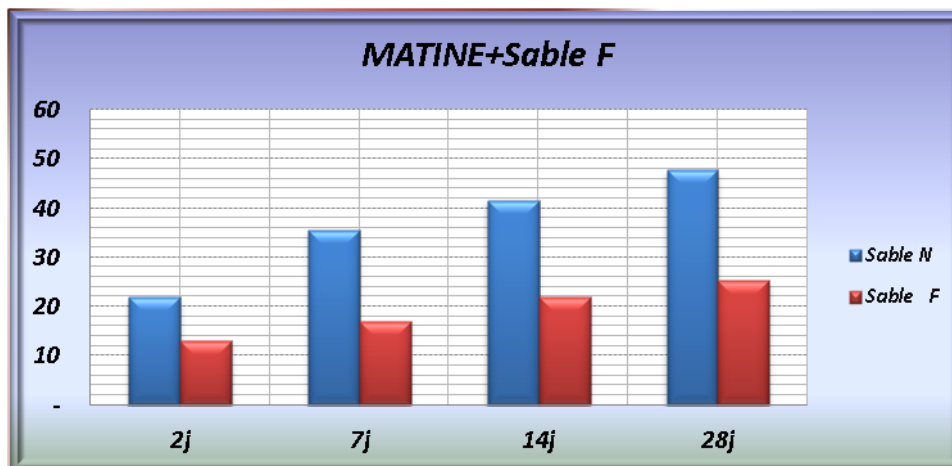


Fig.III.20 : La résistance à la compression de mortier à base de sable F et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment MATINE.

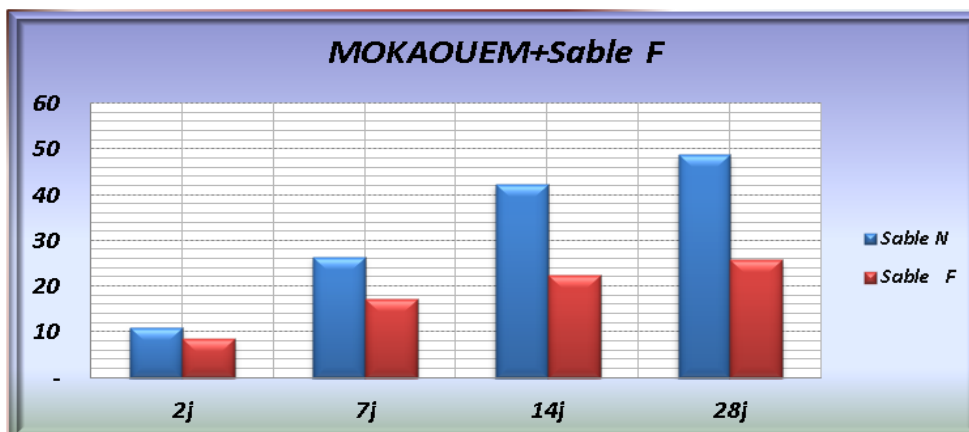


Fig.III.21 : La résistance à la compression de mortier à base de sable F et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment MOKAOUM.

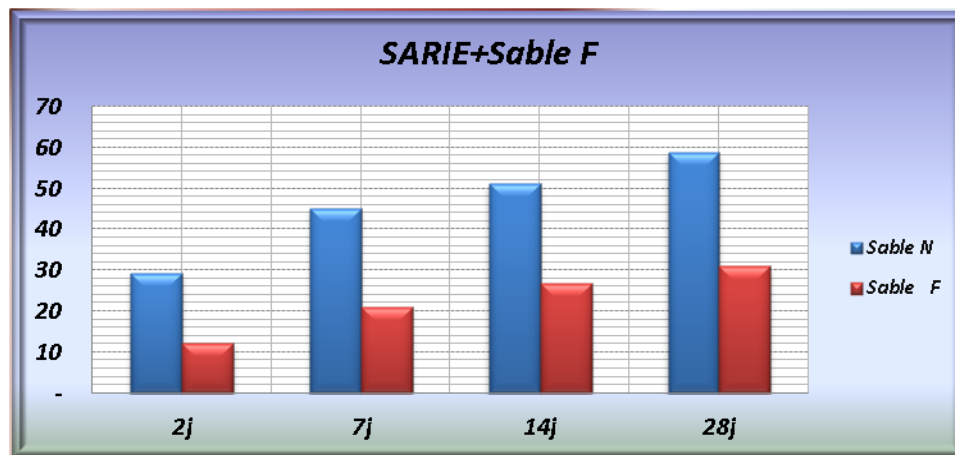


Fig.III.22 : La résistance à la compression de mortier à base de sable F et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment SARIE.

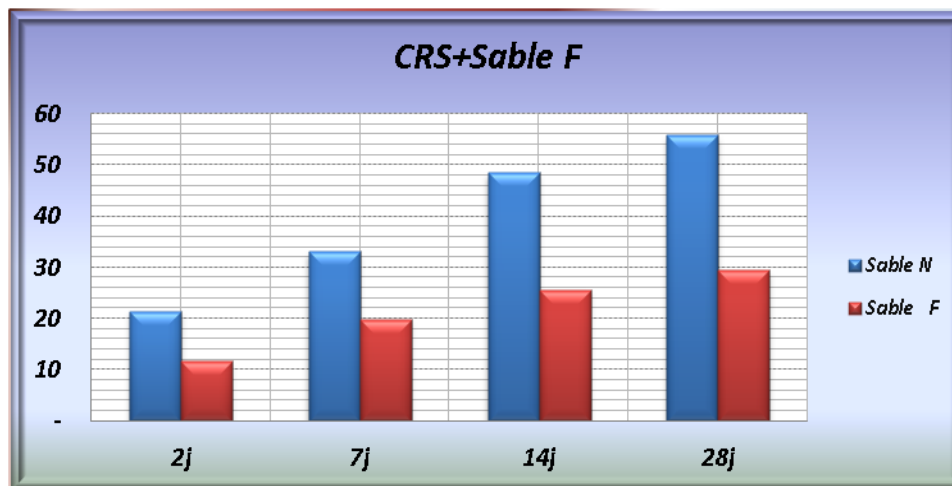


Fig.III.23 : La résistance à la compression de mortier à base de sable F et le mortier de référence(sable normal) en utilisant le ciment CRS.

Interprétation :

a) Avec le ciment CHAMIL :

Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau III.5 ,et représenter dans les figures III.19

Ces résultats représentant les essais sur éprouvettes mortier confectionné par le ciment CHAMIL comme liant et le sable F (sable Tamsa) comme charge les résultats obtenus sont ensuite comparés avec des résultats des références (mortier normalisé avec ciment CHAMIL).

D'après ces résultats on constate que à la comportement d'évolution de la résistance est le même dans les deux types des mortiers (Augmentation au jeune âge).alors que la résistance caractéristique à 28jours pour le mortier à sable F est de 19.41 MPa .

Alors qui avec un mortier normalisé la résistance est de 36.80 MPa. Ceci veut dire que la résistance d'un mortier à sable F est inférieur par 47.25% ,c'est-à-dire que le sable F ne peut pas considéré comme sable normale.

b)Avec le ciment MATINE :

Les résultats obtenus sont illustres dans le tableau III.5 et représentés dans la figure III.20.

D'après ces résultats , on constate que les deux mortiers se comportent de même manière en ce concerne l'évolution de la résistance est remarqué d'après la figure III.20.

A l'âge 28 jours , le mortier avec sable normalisé atteint une résistance de 36.59MPa, alors que le mortier avec le sable F atteint une résistance de 47.80 MPa, ce qui montre que le sable F est un bon sable et pas loin d'être un sable normal.

c)Avec le ciment MOKAOUEM

Le sable F est aussi utilisé pour confection des éprouvettes d'essai (4*4*16) avec le ciment MOKAOUEM comme liant.

Les résultats obtenus sont présentes dans le tableau III.5 et illustres par la figure.III.21 d'après ces résultats, on constate que la résistance en compression augmente avec le temps dans les deux mortiers (mortiers de référence et le mortiers de ciment MOKOUEM).

Le coefficient de corrélation entre les deux résistances à 28 jours est de 0.81 :ce qui permet de dire que le sable F est un bon sable qui rapproche au sable normale.

d)Avec le ciment SARIE et CRS :

Les résultats obtenus après avoir testé les mortier confectionnés à partir de sable F en utilisant le ciment SARIE et aussi avec le ciment CRS .

Montre bien que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation de temps de durcissement et avec le même comportement.

A 28 jours la résistance à la compression atteint 31 MPa avec le ciment SARIE et sable F, alors qu'avec le même ciment et un sable normalisé, la résistance R_{c28} est arrivé à 58.80MPa.

Conclusion sur le sable F avec différent ciment :

D'après les essais réalisés avec le sable F, on constate que :

- Le sable F qui est un sable siliceux et gros avec un module de finesse égal à 1.92 présente un bon sable qui se rapproche du sable normalisé le coefficient de correctif est de 0.53.

$$R_{CD} = 0.53 R_{c \text{ témoin.}}$$

Conclusion :

Le sable élaborée qui composée par les sables locaux en Algérie qui obtenue la bonne résistance à la compression par apport le sable normalisé puis le sable DJAMAA, les deux sables est une sables siliceux gros et la propreté supérieur à 94%

Conclusion Générale

Conclusion Générales

Les sables de dune ou concassé représentent des éléments très essentielles dans la préparation de béton, ils sont aussi, du à leurs disponibilités en grande profusion et leurs exploitation générale à ciel ouvert les éléments les moins couteaux dans les matériaux cimentaires.

Dans notre travail et en vue de voir la faisabilité d'élaborer un sable normale comparable au sable européen utilisé dans les cimenteries pour caractériser le ciment fabriqué.

La méthode employée dans ce travail pour mettre au point un sable substitue au sable normal européen peut-être utilisée par tous les pays disposant de matériaux de texture sableuse (sables de dune, sables concassés).

Elle fait usage des matériaux locaux employés dans la construction, ce qui représente un avantage technique et un gain économique certains.

Ce travail, cinq types de sable provenant de différentes régions de l'Algérie. Font l'objet d'une étude pétrographique (granularité, minéralogie et morphologie) puis d'une étude des caractéristiques géotechniques des sables (équivalent de sable, teneurs en fines).

Ces examens complémentaires permettent de faire une première limitation (sable de plage de TICHY du à la grande présence de chlorure de sodium et aussi la sélection de sable de DJEMMAA qui un sable siliceux (sable).

Des mortiers sont confectionnés sur les sables sélectionnés, on a ajusté la granularité du sable qui est proche du sable normal afin que la granularité de ce sable sélectionné (sable A de DJEMMAA) s'épouse l'allure de la courbe moyenne de fuseau de la norme.

Les essais sur les sables et les mortiers préparés à base de ces sables et les différents types de ciment ont montrés que comme point essentiel la faisabilité d'élaborer un sable normale à partir des sables locaux.

Le sable élaboré à base de sable de DJEMMAA et corrigé par le sable de dune de TAMSA et le sable Concassé présente les caractéristiques suivantes :

- Une masse volumique 1.64 g/cm^3 qui est proche de celle du sable normalisé (1.70 g/cm^3).

- Un indice de vide de 0.55 comparable à celui du sable normalisé (0.54).
- Une porosité du 35.50% qui est très proche de celle du sable normalisé (35.35 %).
- Un équivalent de sable de 92 (sable très propre) qui est presque égale à celui de sable normalisé (93).
- Un module de finesse est égale 2.7 qui est très proche de celui du sable normalisé (2.65).
- Les essais sur mortiers à base de sable élaboré et les mortiers a base de sable normalisé montre que bonne corrélation qui se trouve entre 0.93 à 0.95.

Ce qui montre que notre sable est un sable très proche du sable normalisé.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : R.DUBAIN , R.LANCHON , J-C.SAINT-ARROMAN « granulat, sols, ciment et béton »
Edition CASTEILLA-PARI S-2004.

[2] : A.F.N.O.R. , 1978 - NF P15-403. Sable Normal.

[3] ben tata Aissa "étude expérimentale d'un béton avec le sable de dune" Mémoire de Magister,
Université de ouergla, année, 2004.

[4]. CEN EN 196 1. , 1990 - Norme européenne, Ciments: Détermination des résistances mécaniques.

[5] :DIOP. M. B, 1995: Recherche d'un sable de substitution au sable normal de Leucate. Thèse de
Doctorat, INSA de Rennes, 126 pages.

[6] : M^r MAZA Mekki. Amélioration des caractéristiques d'un mortier à base de sable mixte avec
adjuvant , M'sila 1997

[7] : Revue d'archéométrie, volume 28, p.127-139(2004).

[8] : M^r BENCHIKK Mohammed. Formulation expérimental d'un béton fluide a haute résistance a base
des matériaux locaux.

[9] :L.PLISKIN : « La fabrication du ciment »-Edition Eyrolles-217p-Paris 1993

[10] : BARRON J. SAUTEREY R. Le béton hydraulique .Bulletin des laboratoires des ponts et
chaussées Paris.p559.

[11] : Mounir Bellem « Valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des
performances mécaniques des mortiers »**mémoire de master**, université de M'sila, juin 2013.

[12] : SOPHIE Housson « étude physique chimique et mécanique des interactions ciment filler.

Application aux mortiers» .thèse de l'institut national polyclinique de Grenoble et de
l'école national supérieure des mines de **Saint-Etienne** (spécialité : Génie des procédés).

[13] BUIL.M, Contribution à l'étude du retrait de la pâte de ciment durcissant, rapport de
recherche L.P.C, n° 92, Paris 1979.

[14] : HARMAN K. Les ajouts, bulletin du ciment, n°04,Paris 1995.

ANNEXE

I-L'échantillonnage

D'une façon générale, une analyse reflète aussi la qualité du prélèvement. Ce postulat est valable quelle que soit la matrice, mais l'est encore plus pour les matières fertilisantes. En effet, ces produits faisant l'objet d'échanges commerciaux, leur échantillonnage est soumis à des contraintes réglementaires précises présentées ci-dessous. Une matière fertilisante est un produit dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux, ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (définition Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail).

- **De la nécessité d'un échantillonnage représentatif**

Comme toutes matrices, les matières fertilisantes stockées en tas présentent une certaine hétérogénéité que la pratique d'échantillonnage aura pour but de prendre en compte. Le tableau 1 illustre un exemple d'hétérogénéité, expliquée par les fractions granulométriques dans le cas d'un compost de déchets verts.

En g/kg MF	< 40 mm	< 20 mm	< 12,5 mm	< 8 mm	< 5 mm
MO	429	402	373	352	335
C/N	17.2	16	14.3	13.4	12.6
NtK *	12.1	12.7	13.6	14.2	19.3
P2O5	3.4	3.6	4	4.1	5.6
K2O	11	11.5	12.2	12.5	17.1
CaO	36	39	43	44	59
MgO	4.1	4.4	4.9	5	6.9

Tableau 1 : Variabilité des teneurs dans un compost de déchets verts en fonction de la fraction granulométrique analysée (répartition granulométrique en % massique : 0-2 mm : 29%, 2-8 mm : 35%, 8-12,5 mm : 9%, 12,5-25 mm : 12%, 25-40 mm : 8%, > 40 mm : 7%) (source ADEME)

*NtK : Azote total Kjeldahl : somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique

Pour être représentatif, l'échantillonnage doit se faire de telle sorte que chaque particule ait la même chance d'être échantillonnée. Pour un andain de compost par exemple, il faut s'assurer que l'outil de prélèvement puisse atteindre toutes les parties du tas. Ainsi lorsque l'andain est trop grand, il faudra l'ouvrir à l'aide d'un outil mécanique. La répartition des prises élémentaires doit également être aléatoire.

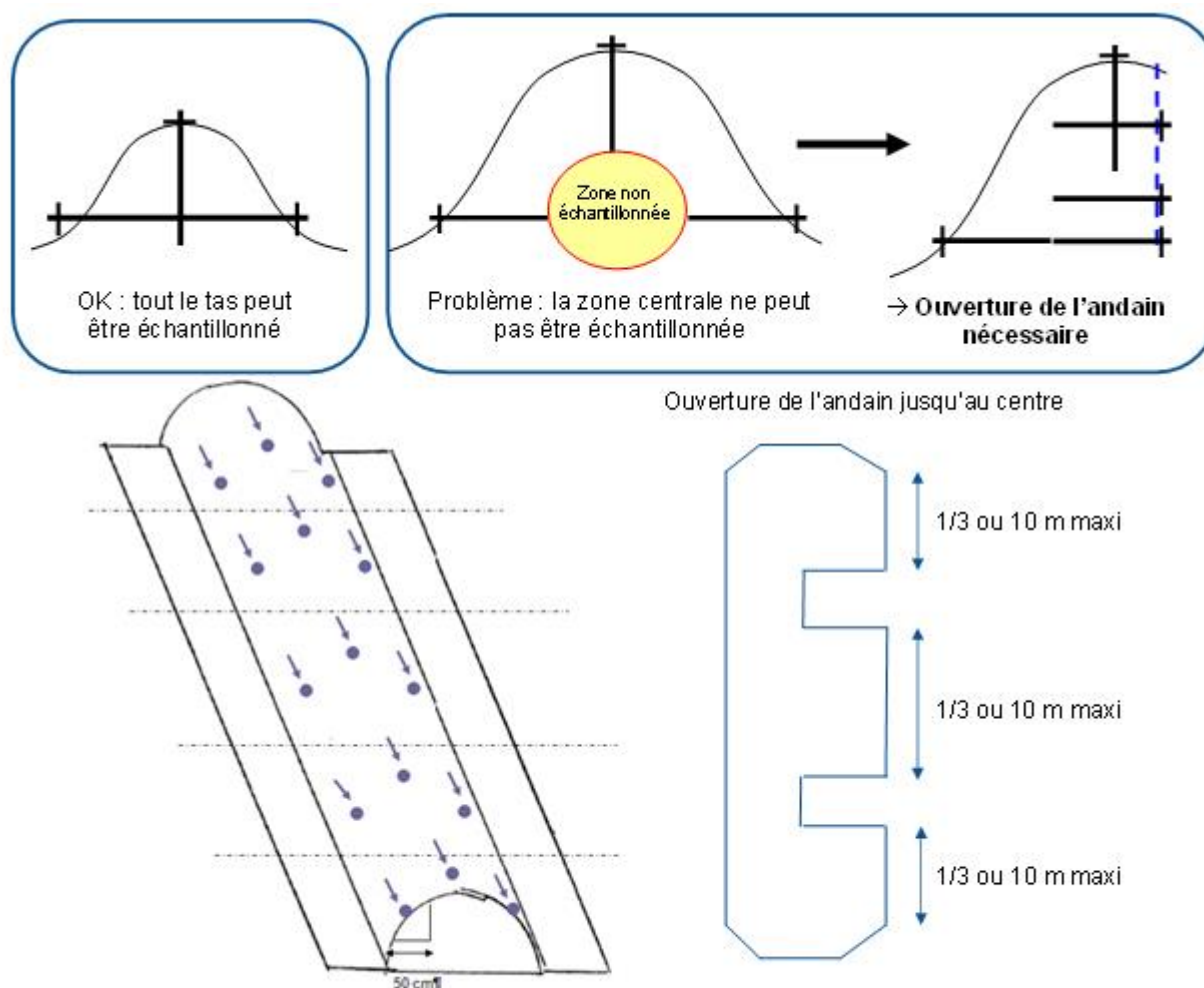


Figure 1 : modalités d'échantillonnage d'un andain

▪ Echantillonnage et réglementation

Les matières fertilisantes sont des produits commercialisés et doivent donc garantir une constance de composition par rapport aux teneurs déclarées. Les analyses ont un poids réglementaire dans ce contexte, et l'échantillonnage en est le premier maillon. Plusieurs textes font référence dans ce domaine. Il y a tout d'abord la norme NF EN 12579(1) qui concerne les amendements organiques et les supports de culture. Cette norme n'a pas un statut réglementaire au niveau français, mais fait consensus au niveau des producteurs de matières fertilisantes. Elle est d'ailleurs citée dans le guide d'application de la norme NF U44-051(2). Cette norme encadre la pratique du prélèvement pour des produits en vrac et emballés :

- Un lot de plus de 5000 m³ (ou 10 000 emballages) ne peut pas être échantillonné de manière représentative
- Le nombre de points d'échantillonnage (N) se définit comme suit : $N = 0,5 \times \sqrt{\text{volume du lot en m}^3 \text{ ou nombre d'emballages}}$, avec un minimum de 12 et un maximum de 30 (voir tableau 2)
- Le prélèvement sur un produit en vrac doit se faire sur toute l'épaisseur du matériau, en prenant soin d'enlever les 50 premiers cm (la couche de surface ne doit donc pas être échantillonnée)

Dimension du lot en volume	Dimension du lot en poids (estimation pour une densité de 0.6)	Nombre de prélèvements élémentaires
< 580 m ³	< 350 tonnes	12
1000 m ³	600 tonnes	16
1500 m ³	900 tonnes	19
2000 m ³	1200 tonnes	22
2500 m ³	1500 tonnes	25
3000 m ³	1800 tonnes	27
> 3500 m ³	> 2100 tonnes	30

Tableau 2 : Nombre de prises élémentaires selon la dimension du lot comme défini dans la NF EN 12579

Pour les engrais minéraux et les amendements minéraux basiques, il faut se référer à la norme NF EN 1482-1 . Elle décrit notamment le prélèvement sur des produits en mouvement. Il n'existe pas de norme d'échantillonnage des engrais minéraux en tas statiques, mais des travaux sont en cours à ce sujet au niveau européen (CEN/TC 260, nous contacter pour plus d'informations).

Le texte réglementaire décrivant la procédure d'échantillonnage est l'arrêté du 8 décembre 1982 , qui définit les modalités techniques du contrôle officiel des matières fertilisantes et supports de culture et les vérifications auxquelles le responsable de la mise sur le marché doit procéder. La répression des fraudes se réfère à ce texte lorsqu'elle effectue ces contrôles. Ce texte indique notamment le nombre de prises élémentaires à réaliser pour constituer l'échantillon à envoyer au laboratoire. Pour un lot de moins de 2,5 tonnes, il faut réaliser 7 prises élémentaires. Au-delà de 2,5 tonnes, le nombre de prises élémentaires (N) se calcule comme suit :

$$N = \sqrt{(20 \times \text{masse du lot en tonnes})},$$

avec un maximum de 40 prises élémentaires au-delà de 80 tonnes Cet arrêté diffère de la norme NF EN 12579, notamment au niveau du nombre de prises élémentaires, qui est bien plus élevé dans l'arrêté du 8 décembre 1982. De plus, l'arrêté ne demande pas d'enlever les 50 premiers cm et ne précise pas les modalités de prélèvement.

▪ Quartage et conditionnement pour envoi au laboratoire

En respectant le nombre de prises élémentaires demandées dans les différents textes, la quantité de matière récupérée est souvent bien supérieure à ce dont le laboratoire a besoin pour réaliser

les analyses. Il est alors nécessaire de sous échantillonner, selon la méthode du quartage : les prises élémentaires sont regroupées, mélangées puis divisées en 4 parties. Deux quarts opposés sont éliminés, les 2 quarts restant sont mélangés de nouveau. Ce processus est répété jusqu'à obtenir la quantité de matière appropriée, le plus souvent entre 2 et 12 L selon les analyses demandées.

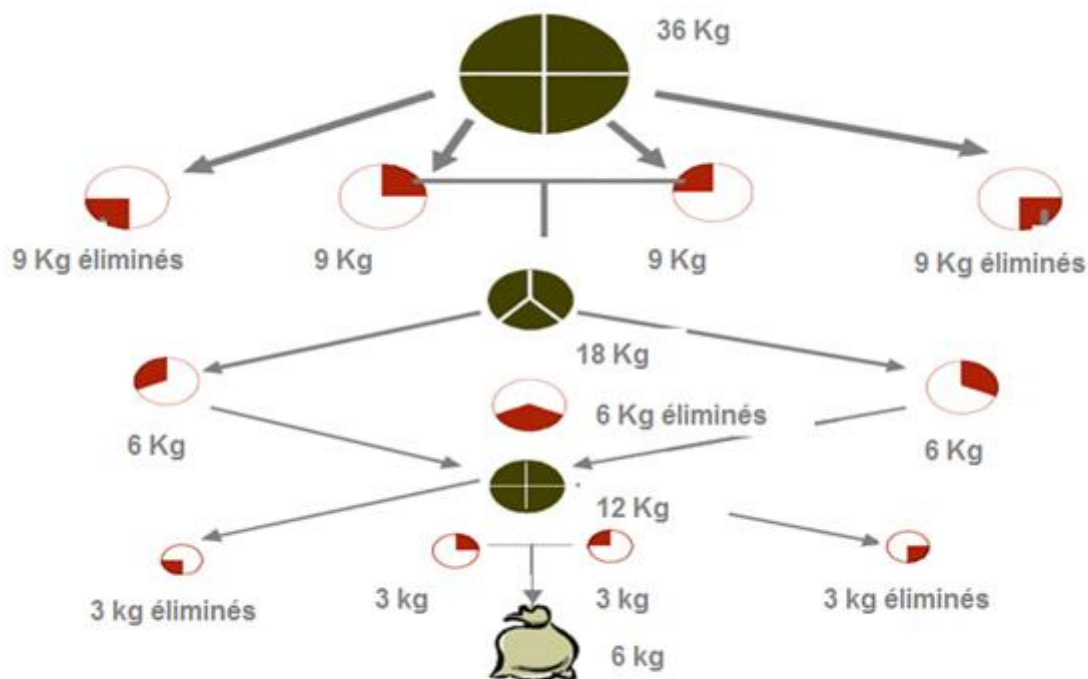


Figure 2 : Processus de quartage (source ADEME)

Une fois le quartage réalisé, les échantillons doivent être conditionnés pour envoi au laboratoire. En fonction des analyses demandées, les contenants ne seront pas les mêmes :

- **Pour les composés traces organiques** : contenant en verre (le plastique risquerait de contaminer l'échantillon)
- **Pour les analyses microbiologiques** : contenant stérile

Le laboratoire fournit généralement les contenants appropriés, tels que ceux présentés en Figure 3.



Sachets PEHD 1 et 4 litres	Bocal verre blanc 850 ml	Flacon PEHD aseptique 1000 ml	Glacière anti-chocs
			
Valeur agronomique, éléments traces métalliques, tests biologiques, granulométrie	Micropolluants organiques (HAP, PCB, autres)	Microbiologie	Microbiologie, analyse des eaux

Figure 3: Exemples de conditionnement (source LCA)

Pour limiter au maximum les contaminations au moment du prélèvement, les outils utilisés doivent être propres et en bon état. Par exemple, un outil de prélèvement rouillé ou écaillé peut contaminer l'échantillon en chrome et nickel (composants de l'acier inoxydable). Pour les analyses microbiologiques, il est recommandé de désinfecter l'outil à l'alcool entre chaque échantillon.

Quelle que soit l'analyse demandée, l'envoi au laboratoire doit se faire dans les plus brefs délais. Les matières fertilisantes, étant des produits « stabilisés », évoluent peu lors du transport si celui est rapide. L'acheminement en contenant réfrigéré n'est donc pas indispensable, sauf pour les analyses microbiologiques, mais il constitue une sécurité supplémentaire.

(1) NF EN 12579 (Décembre 2013) Amendements organiques et supports de culture – Échantillonnage (2) GA U44-191 (Juin 2011) Amendements organiques - Guide d'interprétation de la norme NF U 44-051:2006 "Amendements organiques - Dénominations, spécifications et marquage" et de son amendement A1:2010 (3) NF EN 1482-1 (Avril 2007) Engrais et amendements minéraux basiques - Échantillonnage et préparation de l'échantillon - Partie 1 : échantillonnage (4) Arrêté du 8 décembre 1982 portant sur les modalités techniques du contrôle officiel des matières fertilisantes et supports de culture et vérifications auxquelles le responsable de la mise sur le marché doit procéder

II-Méthode de préparation de sable élaboré :

Après l'analyse granulométrique les différent des sables

Tamis en (mm)	Sable concassé En (%)	Sable roulé	
		Sable Oued souf en (%)	Sable Boussaâda en (%)
2	0	0	0
1.6	58.36	100	0
1	67.09	100	0
0.5	0	91.50	0
0.16	0	31.23	0
0.08	0	0	80.87

Remarque :

Cette méthode est un méthode forfaitaires qui basé sur la fraction de sable normalisé et l'augmentation du pourcentage de silice dans cette mélange .

D'abord en utilise 23.23%de sable concassé mais la majorité de cette composition est sable roulé qui abondance dans les région Oued Souf et Boussaâda .

ملخص:

برغم الموارد الهامة التي تزخر بها الجزائر إلا أنه لا يزال يسجل إستيراد بعض المواد الأولية على غرار الرمل النوعي الذي يستورد بكميات تكلف عملة صعبة (ما يقارب 15 أورو لكل 1350 غرام) معتبرة خاصة في ظل الإعتماد الكامل على موارد النفط وهبوط أسعاره في الأسواق الدولية، هذه المواد التي يمكن أن تصنع مستقبلا في الجزائر وتحقق الإكتفاء الذاتي فيها مع فتح المجال لتصديرها لاحقا للدول الأقل نموا.

كبداية تم وضع دراسة خصائص عدت عينات رمل محلي تحمل نفس الخصائص الرمل النوعي، والتي تعتبر كخطوة أولية لصناعة هذا الصنف من الرمل.

الكلمات المفتاحية: رمل ناعم – الرمل القياسي – الإسمنت – المخطط الحبيبي – المقاومة.

Résumé:

En dépit des ressources importantes qui pullulent en Algérie, mais toujours enregistrer l'importation de certaines matières premières sur la qualité du sable, qui quantités importées coûtent devises similaires à (environ 15 euros par 1350 grammes), compte tenu en particulier à la lumière de la dépendance totale des ressources pétrolières et la baisse des prix sur les marchés internationaux, ce matériau peut être fait à l'avenir en Algérie et atteindre l'autosuffisance avec la zone ouverte à l'exportation des pays les moins avancés plus tard.

En début a été développé étude des caractéristiques d'un échantillon de sable locaux retournés avec les mêmes caractéristiques qualitatives du sable, qui est considéré comme une première étape pour la fabrication de ce type de sable.

Mots Clé : Sable fin – Sable normalisé – Ciment – Courbe granulométrique – Résistance.

Abstract :

Despite the important resources that Algeria possesses, it still records the importation of some raw materials such as the quality sand, which is imported in quantities that cost a difficult currency (approximately 15 Euro per 1350 grams), especially considering the full reliance on oil resources and the drop in international prices, These materials, which can be manufactured in the future in Algeria and achieve self-sufficiency in it with the opening of the field for export later to the least developed countries.

To begin with, a study of the properties of local sand samples with the same characteristics as the specific sand, which is considered as an initial step for the manufacture of this type of sand, was studied.

Words Keys: Fine sans – Normal sans –cement –grading analysis curve – strength .