



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



Republique Algerienne Democratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université Larbi Tébessi – Tébessa –

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

En : Génie Civil

Spécialité : Voies et Ouvrages D'arts

Par : BOUCHOUCHA Aya

FEHDI Tayeb

Sujet

Etude Expérimentale de La Valorisation du Sable de Mine Dans La Formulation De Béton Hydraulique

Présenté et soutenu publiquement, le 12 / 06 / 2022 , devant le jury composé de :

M : FARES Abdelhafidh	MAA	Président
Melle : MALAOUI Rachida	MAA	Encadreur
M : HASSOUNET Nacer	MCB	Examinateur
M : ABD ERRAHMANI Seif eddine	MCA	Examinateur

Promotion : 2021/2022



Remerciement

En fin de ce travail, nous remercions d'abord Dieu de nous avoir donné la volonté et la patience, qui nous a accordé le succès, pour terminer ce travail.

En premier lieu, Nous adressons nos profonds remerciements à notre encadreur de mémoire Melle Malaoui R, professeur à l'université de Tébessa, pour ses conseils et ses orientations pour mieux élaborer ce travail et pour qu'il nous guider sur le bon chemin durant l'accomplissement de ce travail.

Nous remercions également les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger notre travail.

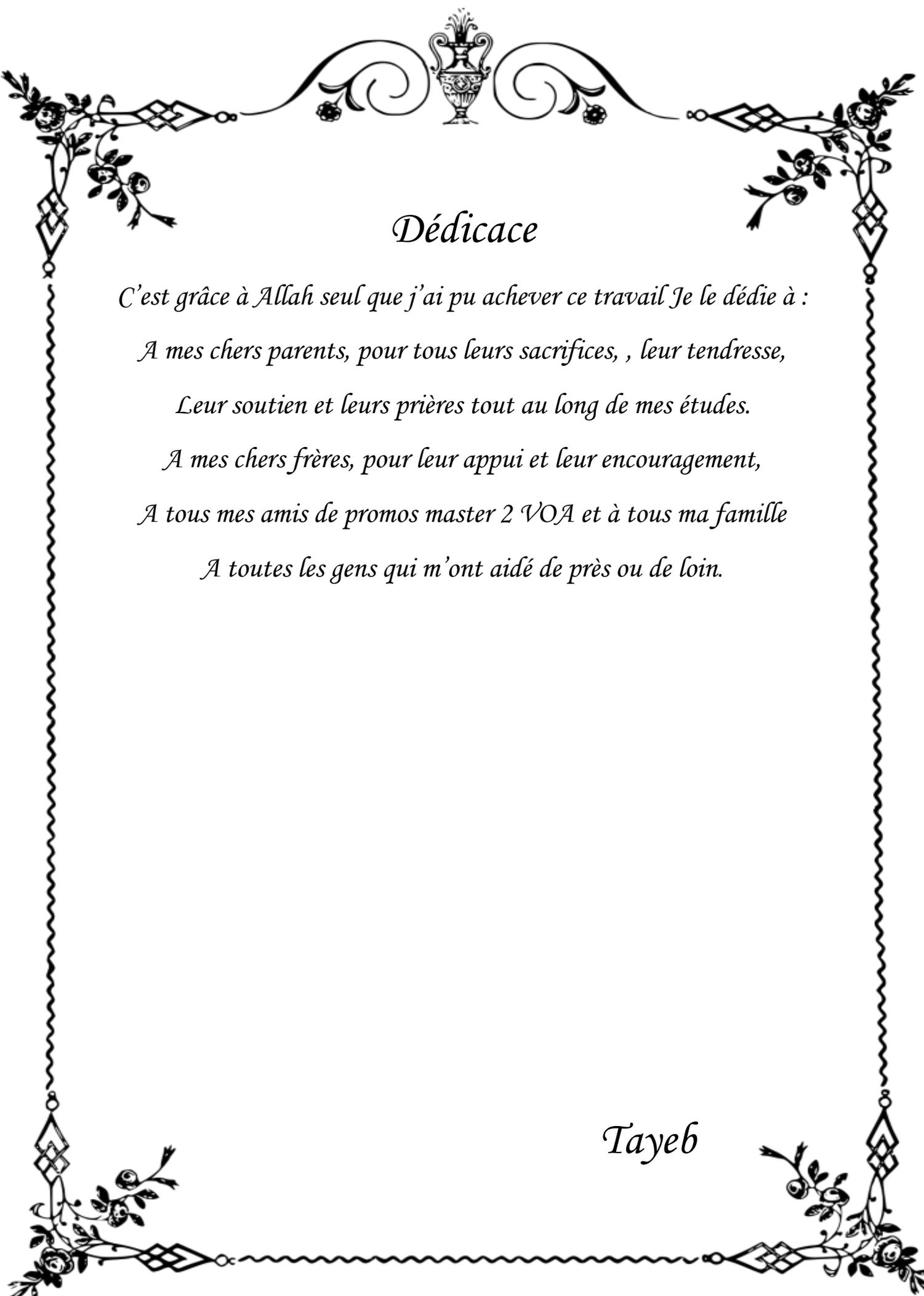
*A tous nos enseignants et à toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, et à tous les responsables du laboratoire de Génie Civil. Ainsi que le responsable de laboratoire de l'université de Larbi TEBESSI
ACHI Souad.*

*Nous remercions également les personnels du Laboratoire des Travaux Publics Est Tébessa, et pour leur directeur
Chaouech Ahmed Abd Allah.*

Nous tiens à remercier nos parents, nos frères, ma sœur Imene Chetouh qui été toujours disponible pour nous donner beaucoup d'aide et d'encouragement, et à tous notre amis de cette promotion de Master VOA.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de nous remerciements les plus sincères.

Aya & Tayeb



Dédicace

C'est grâce à Allah seul que j'ai pu achever ce travail Je le dédie à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, , leur tendresse,

Leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

A tous mes amis de promos master 2 VOA et à tous ma famille

A toutes les gens qui m'ont aidé de près ou de loin.

Tayeb



Dédicace

C'est grâce à Allah seul que j'ai pu achever ce travail Je le dédie à :

Ma très chère mère, qui a toujours été présente pour moi, dans les moments les plus difficiles et qui sont cesse vieille pour moi avec ses prières, pour ses grande sacrifice et tout L'amour qu'elle me porte.

A mon père Lhaj Bouchoucha Nouredinne, Je ne saurais exprimer mon grand chagrin en ton absence. J'aurais aimé que tu sois à mes côtés ce jour Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu Pour lui. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de ses sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et ma formation. Que ce travail soit une prière pour le repos de ton âme.

A ma chère sœur : Imene

A mes frères : Hamdi, Sadek, Hmayda

A mes belles sœurs : Wassila, Manel, Sarah

A la cause de mon bonheur et sourire mes nièces : Camyla, Sadja, Zina

Et mes neveux : Asser, Nouredinne Majdou,

Mes oncles : Saleh, Adel, Lhadi, Mouldi

À mes chères tantes : Fatma, Sakina, Mounira, Abla,

Aux personnes les plus chères de ma vie : Amel, Takoua, abd lghani,

Sans oublier ma grande famille (BOUCHOUCHA).

À toutes mes amies et amis qui me connaissent, qui m'aiment soit à la fac, à la cité ou hors études et toute la promo des génies civils option VOA.

Aya

Table des matières

Remerciement.....	2
Dédicace	3
Table des matières	5
Liste des figures.....	9
Liste des tableaux	11
Liste des symboles et abréviations	12
Introduction Générale.....	14
CHAPITRE I :	16
DESCRIPTION GEOLOGIQUE DE SITE D'ETUDE : DJBEL ONK (KEF-ESNNOUNE).....	16
Introduction	17
Utilisation des phosphates dans le domaine de construction.....	17
Aperçu sur l'origine des phosphates.....	17
4. Situation géographique :	18
4.1 Situation géographique régionale de Djebel Onk :	18
4.2 Situation géographique de Kef-Esnoun.....	19
5. Contexte géologique.....	20
5.1 Géologie régionale de Djebel Onk	20
5.2. Présentation géologique de Kef Essenoun :	21
6. Stratigraphie	21
7. Etude stratigraphie et lithologique.....	22
7.1 Crétacé.....	22
7.2 Paléocène.....	22
7.3 Eocène	23
7.4 Miocène	24
7.5 Quaternaire	24
CHAPITRE II :	26
GENERALITE ET CARACTERISATION DU SABLE.....	26
Introduction :	27
Les différents constituants du sable :	27
2.1 Le silicium :	27
2.2 La silice (ou quartz SiO ₂) :	27
2.3 Les silicates :	27
2.4 Les argiles :	27
Classifications des sables :	27
3.1 La granularité :	28
3.2 La propreté et la teneur en fines :	28
3.3 La nature minéralogique :	28
3.4 Leurs provenances :	28
Les caractéristiques du sable :	28

4.1 La courbe granulométrique :	28
4.2 La forme du grain :	29
4.3 Autres caractéristiques techniques :	29
5. Les bétons :	29
5.2 Maçonnerie et mortiers :	29
5.3 Les mélanges bitumeux :	30
5.4 L'industrie du verre :	30
5.5 Autres usages :	30
6. Sable de carrière :	30
6.1 Emploi du sable de carrières dans le béton :	30
7. Les Ressources des sables en Algérie :	31
7.1 Les sables roules siliceux :	31
7.2 Les sables de concassage calcaires :	31
7.3 Le sable de dune :	31
8. Utilisation de sable locale dans le béton en Algérie :	32
8.1 Sable dans la zone de kef-Esnnoun :	32
8.2 Réserves en sable :	34
9. Etude expérimentale des propriétés physiques et chimiques :	34
9.1 Echantillonnage : NF XP P 18-553 :	34
9.2 But et Principe de l'échantillonnage :	35
9.3 Appareillage :	35
9.4 Exécution de l'essai :	36
9.5 Quartage :	37
9.6 Échantillonneur :	37
9.7 Les Essais physiques :	38
9.7.1 Analyse granulométrique Par Tamisage NF P 94-056 :	38
9.7.2. Le calcul du module de finesse :	44
9.7.3 Détermination de la masse volumique des particules solides des sols NF p 94-054 :	45
9.7.4 Détermination de la masse volumique apparente :	47
9.7.5 Équivalent de sable XP P 18-598 :	48
9.7.6 Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène NF P 94-068 :	51
9.7.7 Mesures de porosité :	53
10. Les essais chimiques :	59
10.1 L'analyse chimique :	59
10.2. La mesure du PH :	60
Conclusion :	62
CHAPITRE III : CARACTERISTIQUE ET METHODES DE LA FORMULATION DE BETON :	63
Introduction :	64
2. Définition :	64

3. Les composants d'un béton :	64
4. Ciment	65
4.1 Définition :	65
4.2 Classification des ciments :	65
4.3 L'eau de gâchage :	66
5. Granulaire :	66
5.1 Définition :	66
5.2 Caractéristiques géométriques des granulats :	66
5.2.1. Classe granulaire :	66
5.2 Granulométrie :	67
5.2.1. Le coefficient d'aplatissement (A) :	68
5.3 Caractéristiques physiques :	68
5.3.1 La Masse volumique apparente :	68
5.3.2 La masse volumique absolue :	69
5.3.3 Propreté des granulats :	69
5.3.4 Caractéristiques mécaniques (résistance à l'usure et aux chocs) :	69
6. Les essais utilisés :	70
6.1 Essai Micro-Deval :	70
6.2. Essai Los Angeles :	70
7. Différent types de bétons :	71
7.1 Béton ordinaire :	71
7.2 Béton léger :	71
7.3 Béton lourd :	71
7.4 Béton de haute performance (BHP) :	71
7.5 Béton a durcissement rapide :	72
8. Propriété essentielles d'un béton :	72
9. Malaxage :	72
10. Moulage et démoulage :	73
11. Essai d'affaissement au cône d'Abrams :	73
12. La masse volumique du béton frais :	75
12.1 Propriétés du béton durci :	75
12.2 Essai de résistance à la compression :	75
12.3 Essai de résistance à la flexion :	76
12.4 Essai de résistance à la traction :	76
13. Masse volumique du béton durci :	77
14. La Porosité :	77
15. Influence du rapport eau/ciment (E/C) :	78
16. Influence du dosage en ciment :	79
17. Influence du type de ciment :	80
18. Influence du squelette granulaire :	80

19. Dimension maximale des granulats D max :	81
20. Influence du squelette granulaire sur l'affaissement :	82
21. Méthodes de formulation des Bétons :	83
21.1 Méthode de Bolomey :	83
21.2 Méthode de Faury :	83
21.3 Méthode de Valette :	84
21.4 Méthode de Dreux-Gorisse :	84
Conclusion :	86
CHAPITRE IV : ETUDE EXPERIMENTALE POUR LA FORMULATION DE BETON	87
1. Introduction :	88
2. La méthode de Dreux- Gorisse :	88
3. Principe de la méthode :	89
4. Caractérisation et formulation :	89
5. Caractéristiques de matières premières utilisant :	89
5.1 Ciment :	89
5.2 Granulats :	92
5.3. Gravier :	93
5.4 Sables :	97
6. Formulation de béton témoin(BT) :	101
6.1. Calcule dosage en ciment :	102
6.2. Dosage des granulats :	104
7. Essais non destructif par Auscultation sonique (Ultra Son) : [NF P 18- 418]	110
8. La résistance à la compression : [NF-EN12390-3]	119
8.1. Résultats de résistance à la compression	120
8.2. Résultats de résistance à la compression Pour la formulation (II):	126
9.Essai mesure ph :	131
9.1. Principe de l'essai :	131
9.2.Exécution de l'essai :	131
10. La résistance à la flexion : [NF EN 1290-5].	132
10.1. Les résultat de la résistance à la flexion :	132
10.2 Résultats de résistance à la flexion Pour la formulation (II):	133
11. Conclusion :	135
Conclusion Générale	136
L'annexe	137
Reference Bibliographique	146
Résumé	151

Table des figures

Figure 1.1: : Carte géologique des gisements de phosphate actuellement en exploitation au monde.....	18
Figure 1.2 : Carte de situation géographique de la région de Djebel Onk.....	19
Figure 1.3 : Carrière de kef- Esnnoun.	20
Figure 1.4 : Coupe transversale du Djebel Onk.....	21
Figure 1.5 : Coupes géologiques à travers le gisement de Kef Esnnoun.....	22
Figure 1.6 : Colonne stratigraphique de la région de Djebel El Onk	25
Figure 2.1 : Situation géographique des ergs de l'Algérie [17].....	32
Figure 2.2 : Les sables du Kef-Esnnoun.	33
Figure 2.3 : Zone d'activité.	33
Figure 2.4: Échantillonneur.	35
Figure 2.5 : Opération de quartage.	37
Figure 2.6 : Schéma d'une opération de quartage.	37
Figure 2.7 : L'organisation de la colonne des tamis.	39
Figure 2.8 : Les échantillons.....	39
Figure 2.9 : La pesée de l'échantillon.....	40
Figure 2.10 : La mise de chaque échantillon.	40
Figure 2.11 : L'agitation et l'organisation de chaque tamis pour le peser.	40
Figure 2.12 : Courbe granulométrique du sable jaune	41
Figure 2.13 : Courbe granulométrique du sable blanc.....	42
Figure 2.14 : Courbe granulométrique du sable de carrière.	43
Figure 2.15 : L'opération D'Essai de la masse volumique avec pycnomètre Sur les deux types de sable.	46
Figure 2.16 : Détermination de la masse volumique apparent (sable blanc et sable jaune).	48
Figure 2.17 : Le repos de l'éprouvette ; Figure 2.18 : La lecture de la hauteur h2.	49
Figure 2.19 : La descente du piston ; Figure 2.20 : La lecture de la hauteur h2.....	49
Figure 2.21 : Schéma essai équivalent de sable.....	50
Figure 2.22 : La solution de bleu méthylène ; Figure 2.23 : L'agitation du sable avec l'eau.	52
Figure 2.24 : La mise de bleu de méthylène dans la burette ; Figure 2.25 : L'essai positif.	52
Figure 2.25 : L'essai positif.....	55
Figure 2.27 : La pesée de moule et de son contenu.	55
Figure 2.28 : le coulage de sable dans le moule au-dessus de la vibration.....	55
Figure 2.29 : La pesée du moule et de son contenu après la vibratio	56
Figure 2.32: Les matériels utilisés et la matière.	61
Figure 3.1 : Les composants d'un béton.	64
Figure 3.2 : Série des tamis pour la granulométrie.....	67
Figure 3.3 : Exemple de courbe granulaire des granulats pour béton [36].....	68
Figure 3.4 : Détermination de la masse volumique apparente.....	69
Figure 3.5 : Détermination de la masse volumique absolue.....	69

Figure 3.6 : Détermination de coefficient de Micro-Deval.	70
Figure 3.7 : Détermination de coefficient de Los Angeles.	71
Figure 3.8 : Mesure d'affaissement au cône d'Abrams.	73
Figure 3.9 : Machine de compression ; Figure 4.10: Eprouvettes cubiques et prismatiques.	75
Figure 3.11 : Machine de flexion.	76
Figure 3.12 : Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment.	78
Figure 3.13 : Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E [69].	78
Figure 3.14 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton [71].	79
Figure 3.15 : Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [71].	79
Figure 3.16 : Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S [36].	80
Figure 3.17 : Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la résistance à la compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment (66)	81
Figure 3.18 : Optimisation du rapport G/S en fonction de l'affaissement [72].	82
Figure 3.19 : Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse [36].	84
Figure 4.1 : photo montrant la zone de prélèvement (gisement de Kef-Esnoun –Google Earth).....	88
Figure 4.2: Défèrents types de graviers de carrière.	93
Figure 4.3: Courbe d'analyse granulométrique de gravie (3/8).....	94
Figure 4.4: Courbe granulométrique de gravier (8/15).....	95
Figure 4.5 : Courbe granulométrique de gravier (15/25).....	96
Figure 4.6: Courbe granulométrique de sable blanc.	98
Figure 4.7: Courbe granulométrique de sable jaune.	99
Figure 4.8: Courbe granulométrique de sable carrière.	100
Figure 4.9: Interprétation des courbes granulométrique.	100
Figure 4.10 : Abaque permettant la détermination du dosage en ciment.	103
Figure 4.11 : La courbe granulométrique de référence sable blanc F (I).	104
Figure 4.12 : La courbe granulométrique de référence sable carrière F I.....	106
Figure 4.13 : La courbe granulométrique de référence sable jaune F II.....	108
Figure 4.14 : l'appareille Ultra Son (TICO).	111
Figure 4.15 : Temps des ondes ultrasonique sur des éprouvettes de formulation(I II) sable blanc.	114
Figure 4.16.: Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes	115
Figure 4.17 : module d'élasticité de la formulation (I,II) sable jaune en(MPa).	115
Figure 4.18 : Vitesse (m/s) des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formulation (I,II) sable blanc116	116
Figure 4.19 : Vitesse (m/s) des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formulation(III) de sable jaune.116	116
Figure 4.20.: Vitesse (m/s) des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formation (III) de sable carrière.117	117
Figure 4.21 : module d'élasticité de la formulation (I,II) sable blanc en (MPa).117	117
Figure 4.22: module d'élasticité de la formulation (I,II) sable jaune en(MPa).118	118
Figure 4.23: module d'élasticité de la formulation (I,II) sable carrière en(MPa).....118	118
Figure 4.24: Type des ruptures des éprouvettes.119	119

Figure 4.25: Essai de compression simple.....	120
Figure 4.26 : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable blanc F (I).....	122
Figure 4.27 : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable jaune F (I).....	122
Figure 4.28: La courbe de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (I)	124
Figure 4.29 : courbe de la résistance à la compression de la formulation (I).....	124
Figure 4.30: La courbe de la résistance à la compression de la formulation sable blanc F (II)	126
Figure 4.31 : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable jaune F (II)	127
Figure 4.32 : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (II).....	129
Figure 4.33 : Courbe de la résistance à la compression de formulation (II).....	129
Figure 4.34 : L'essai de mesure Ph à l'aide de phénolphtaléine.	130
Figure 4.35 : Essai de la flexion simple.....	131
Figure 4.36 : courbe de la résistance à la flexion de la formulation (I).....	132
Figure 4.37 : courbe de la résistance à la flexion de la formulation (II).....	134

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Réserves en sable de Djebel Onk Sud. [19].....	34
Tableau 1.2 : Le refus cumule et le tamisât de chaque tamis pour le sable jaune.	41
Tableau 1.3 : Le refus cumule et le tamisât de chaque tamis pour le sable blanc.	42
Tableau 1.4 : Le refus cumule et le tamisât de chaque tamis pour le sable de carrières.	43
Tableau 1.5 : La classification des sols grenus dans la classification LCPC	44
Tableau 1.6 : Résultats d'essai poids spécifique.	46
Tableau 1.7 : L'évaluation du type de sol et constituants par poids spécifique.	47
Tableau 1.8 : Résultats d'essai masse volumique apparents.	48
Tableau 1.9: Les résultats d'essai équivalant de sable.	50
Tableau 1.10 : La nature et qualité du sable en fonction du ES.	50
Tableau 1.11: L'évaluation de la catégorie du sol par le VBS.	53
Tableau 1.12: Le type de sol en fonction de porosité [25].	54
Tableau 1.13 : Résultats des masses volumiques maximales et minimales.	58
Tableau 1.14 : Qualificatif de compacité du sol. [28]	59
Tableau 1.17 : L'évaluation du type de sol par le PH [28].....	61
Tableau 1.18 : Les résultats des essais.....	62
Tableau 2.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton ordinaire [32].....	65
Tableau 2.2 : classe de consistance (Slump test) [59].	74
Tableau 4.1: Composition chimique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R	90
Tableau 4.2 : Composition minéralogique de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.	90
Tableau 4.3: Caractéristiques physiques de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.	91
Tableau 4.4: Caractéristiques mécaniques de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.....	92
Tableau 4.5: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (3/8).....	93
Tableau 4.6: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (8/15).	94
Tableau 4.7: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (15/25).	95
Tableau 4.8: résultats des principales caractéristiques physiques des graviers.	96
Tableau 4.9 : résultats des principales caractéristiques mécanique des graviers.....	97
Tableau 4.10: Résultat de l'analyse granulométrique de sable Blanc.	97
Tableau 4.11: Résultat de l'analyse granulométrique de sable Jaune.	98
Tableau 4.12: Résultat de l'analyse granulométrique de sable carrière	99
Tableau 4.13 : Résultats des principales caractéristiques physiques des sables des mines.....	101
Tableau 4.14 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G.....	102
Tableau 4.15 : Caractéristiques de formulation du béton.	102
Tableau 4.16 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation [60].....	111
Tableau 4.17 : Résultats d'essai ultrasonique pour formulation (I,II) sable blanc.	112
Tableau 4.18: Résultats d'essai ultrasonique pour formulation (I,II) sable jaune.	113
Tableau 4.19: Résultats d'essai ultrasonique pour formulation (I,II) sable carrière.	114
Tableau 4.20 : Vitesse de montée en charge préconisées en fonction des dimensions des éprouvettes [2].....	120
Tableau 4.21 : Formulation de béton (I) sable blanc.	121
Tableau 4.22 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable blanc F (I).....	121
Tableau 4.23 : Formulation de béton (I) sable Jaune.....	122
Tableau 4.24 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable jaune F (I).....	123
Tableau 4.25 : Formulation de béton (I) sable carrière	124
Tableau 4.26 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (I).	124
Tableau 4.27 : Formulation de béton (II) sable blanc.....	126
Tableau 4.28 : Résultats de la résistance à la compression de la formulation sable blanc F (II).	126
Tableau 4.29 : Formulation de béton (II) sable Jaune	127
Tableau 4.30 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable jaune (II).	127
Tableau 4.31 : Formulation de béton (II) sable carrière	128
Tableau 4.32 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (II).	129
Tableau 4.33 : couleur d'indicateur phénolphthaléine en fonction du ph.	131
Tableau 4.34 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable jaune F (I)	132
Tableau 4.35 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable jaune F (I)	132
Tableau 4.36 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation Sable carrière F (I).....	133
Tableau 4.37 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable blanc F (II).....	133
Tableau 4.38 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable jaune F (II).....	134

Liste des symboles et abréviations

C : Dosage en ciment du béton.

A : constante, traduisant la maniabilité du béton.

K : Coefficient de perméabilité.

D : Le diamètre du plus gros granulat.

B : Varie de 1 à 2 selon que le béton ferme au no

P : Le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d

T : est le temps de propagation en (seconde) .

L : est la distance entre les transducteurs en (m).

V : est le volume de l'échantillon, en (m³), déterminé selon la méthode choisie.

L'essai de la masse volumique doit être réalisé selon la norme [63].

M : est la masse de l'échantillon, en (kg), pour un état de l'échantillon donné.

E : Indice des vides.

P : Densité apparente.

F : la charge maximale appliquée au cours de l'essai(en kn).

E : Module d'élasticité [MPa].

V : La vitesse de propagation [m/s].

V : Coefficient de Poisson.

G : coefficient granulaire.

E : dosage en eau (kg/m³).

Cc : Coefficient de courbure.

Cu : Coefficient d'uniformité.

P_s : poids spécifique.

ES : équivalent de sable.

M_f : Module de finesse.

dm: diamètre maximale de tamis.

E/C : rapport eau sur ciment.

BF : Béton ferme.

BP : Béton plastique.

BTP : Béton très plastique.

BA : béton adjuvante.

LA : indice de los Angeles.

I_D : Indice de densité.

MDE : indice de micro Deval.

VBS : Valeur de bleue de méthylène.

γ_d : poids volumique sec.

WOPM : teneur en eau optimale..

σ'_{28j} : Résistance visée à 28 jours.

σ'_c : Classe vraie de ciment en (MPa).

S J : Sable jaune.

S B : Sable blanc.

S C : Sable de carrière.

C_a O : Oxyde de calcium.

SiO₂ : Oxyde de silicium.

AL₂O₃: Oxyde d'alumine.

M_g O : Oxyde de magnésie.

K₂O : Na₂O : Les Oxydes alcalins.

SO₃: L'anhydride sulfurique.

Na₂O : Oxyde de sodium.

Cl : Clore.

Résumé

L'utilisation des stériles minières en tant que matériaux pour la construction est l'une des plus grandes préoccupations saisissant l'attention de nombreux pays miniers. Les sables des mines de gisement de Kef –Esnoun des mines de Djebel Onk sont des matériaux sédimentaires de plusieurs variétés de couches avec des épaisseurs variables et valent de loin jusqu'à plus de 300m en profondeur.

Le but de cette étude est d'améliorer certaines propriétés du béton hydraulique en incluant des quantités variables de sable de mine dans leur composition avec trois types de gravier, car nous dépendons de mener des essais en laboratoire sur les formulations de béton proposées et de comparer leurs résultats. Dans cette étude, nous voulions également évaluer la capacité du sable miniature à former des matériaux de construction, la compatibilité du sable avec les matériaux de béton hydraulique, et l'importance d'utiliser du sable de carrière pour améliorer le béton et réduire la teneur en air.

Mots-clés :

Les stériles minières, Sable de mine, béton hydraulique, formulation de béton, sable de carrière,

Abstract

The use of mining waste rock as materials for construction is one of the biggest concerns grabbing the attention of many mining countries. The sands of the Kef-Esnoun deposit mines of the Djebel Onk mines are sedimentary materials of several varieties of layers with variable thicknesses and are worth from far to more than 300m in depth.

The purpose of this study is to improve certain properties of hydraulic concrete by including varying amounts of mine sand in their composition with three types of gravel, as we depend on conducting laboratory tests on the proposed concrete formulations and comparing their results. In this study, we also wanted to assess the ability of miniature sand to form building materials, the compatibility of sand with hydraulic concrete materials, and the importance of using quarry sand to improve concrete and reduce the grade. In the air.

Keywords :

Mining waste rock, mine sand, hydraulic concrete, concrete formulation, quarry sand,.

المخلص

يعد استخدام بقايا الصخور المعدنية كمواا للبناء أحد أكبر الاهتمامات التي تجذب انتباه العديد من دول التعدين. إن رمال مناجم رواسب كاف السنون في مناجم جبل العنق هي مواد رسوبية من عدة أنواع من الطبقات ذات سمكات متغيرة وتصل قيمتها إلى أكثر من 300 متر في العمق .

الغرض من هذه الدراسة هو تحسين خصائص معينة للخرسانة الهيدروليكية من خلال تضمين كميات متفاوتة من رمل المنجم في تكوينها مع ثلاثة أنواع من الحصى، حيث نعتمد على إجراء الاختبارات المعملية على تركيبات الخرسانة المقترحة ومقارنة نتائجها. في هذه الدراسة، أردنا أيضًا تقييم قدرة الرمل المصغر على تكوين مواد البناء، وتوافق الرمل مع مواد الخرسانة الهيدروليكية، وأهمية استخدام رمل المحجر لتحسين الخرسانة وتقليل الدرجة في الهواء

الكلمات المفتاحية:

تعددين بقايا الصخور، رمال المناجم، الخرسانة الهيدروليكية، تركيبات الخرسانة، رمال المحاجر.

Introduction Générale

Plus de quatre milliards de mètres cube de béton sont coulés chaque année dans le monde. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière off-shore. Le développement de l'emploi d'un matériau de construction repose sur des critères techniques et économiques. La résistance mécanique et la durabilité du matériau fondent les principaux critères de choix techniques. La disponibilité et le faible coût des matières premières, la facilité d'emploi et le prix de revient du matériau valident les conditions économiques

Environ 35 à 40 % du volume de sable est utilisé pour fabriquer du béton. Le sable naturel utilisé dans le béton est l'une des ressources naturelles les moins chères. Cependant, la surexploitation du sable naturel a conduit à l'épuisement des gisements naturels dans les pays en développement, et plusieurs régions d'Algérie sont confrontées à une pénurie de sable naturel de qualité. Il est donc nécessaire de trouver des alternatives au sable naturel sans sacrifier la durabilité du béton.

Les agrégats sont généralement divisés en deux catégories : Mince et grand.

Les granulats fins sont des sables naturels ou artificiels jusqu'à 5 mm de diamètre. Le granulats grossier est composé de particules retenues sur un tamis de 5 mm, jusqu'à une taille maximale de 150 mm, et le granulats grossier le plus couramment utilisé à une granulométrie maximale de 25mm.

1.2. Problématique

Les réserves de sable dans les mines de Djebel el Onk situé à Bire El Ater willaya de Tébessa sont considérées comme des ressource d'exploitation immense inopportunément ces dernières ne sont pas utilisées malgré l'épuisement drastiquement des ressource de sables des vallées, des mers et d'autres situées en Algérie par son utilisation dans le domaine de la construction. Dont nous avons entrepris ces recherches (ce travail) dans le but d'exploiter ces réserves de sable en particulier dans le domaine de construction

1.3. Objectifs

L'objectif de ce travail, est la valorisation des sables des mines de Kef-Esnoune dans la formulation de béton hydraulique. trois types de sable algérien ont été utilisés, un sable jaune, un sable blanc, et un sable de carrière proviennent de la carrière de EL MA LABYOD, nous avons utilisé aussi trois types de graviers, G(3/8), G(8/15), et G(15/25).

1.4. Méthodologie

La méthodologie utilisée pour la réalisation de ce projet s'organise autour de quatre chapitres principaux, dont les trois premiers ont un caractère bibliographique et le dernier décrit les recherches effectuées.

Le premier chapitre : est réservé à la description géologique des différentes formations rencontrées et l'étude hydrogéologique de la région de Djebel El-Onk ainsi la situation de la zone de prélèvement kef-Esnnoune.

Le deuxième chapitre : est consacré à l'étude expérimentale et subdivisé en deux parties :

La première partie, décrit une généralité sur les sables en générale et les caractérisations des sables des mines, et l'emploi de sable de carrière dans le béton.

La deuxième partie, décrit les résultats obtenus et leurs interprétations, à partir de nombreux essais expérimentaux, sur les trois types de sable (sable blanc, sable jaune et sable de carrière).

Le troisième chapitre : est consacré à l'étude expérimentale qui décrit la caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des bétons dans le cadre de ce travail, en présentant leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques. La méthode de formulation, ainsi que les compositions retenues pour les différents bétons étudiés.

Le quatrième chapitre : L'étude expérimentale qui décrit la caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des bétons et décrit les résultats obtenus et leurs interprétations, à partir de nombreux essais expérimentaux, pour les différentes formulations du béton.

Enfin, Une conclusion générale sur les travaux effectués, des perspectives permettent de croire qu'ils pourraient être utilisés dans la formulation de béton hydraulique et des recommandations pour des études ultérieures, ainsi une liste de références bibliographiques et des annexes qui présentent le détail des données analysées dans le mémoire .

CHAPITRE I :
DESCRIPTION GEOLOGIQUE DE SITE D'ETUDE :
DJBEL ONK (KEF-ESNNOUNE)

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons d'abord décrire brièvement l'origine des phosphates, et les travaux menés dans la zone de Djbel Onk (kef-Esnnoune), puis décrire la situation géographique, la géologie, car elle est à la base de tous les projets miniers visant à étudier la partie terrestre de la couche de surface et à expliquer l'arrangement des roches dans le temps.

2. Utilisation des phosphates dans le domaine de construction

En construction routière, ou l'utilisation du phosphogypse a été envisagé seul enterrassement comme remblai routier, ou en assise de chaussée. Dans quelque pays cette utilisation a donné des résultats satisfaisant. La production d'agglomérés, avec des mélanges phosphoplatre et sable ou des mélanges compactés de phosphogypse stabilisé à la chaux, la production de plâtre imitation marbre, la

production de ciment anhydrite. La production de plâtre (ou phosphoplatre), obtenu par conversion thermique, du sulfate de calcium dihydraté du phosphogypse en semi hydraté. Cette production fut la première application intéressante qui est passé à l'échelle industrielle grâce à la teneur élevée de phosphogypse en gypse et l'aspect thermique relativement simple de cette application. Les produits dérivés issus de cette technique sont : les enduits de plafonnage manuelle ou à la machine, les plaques de plâtre cartonées avec ou sans isolant, les plâtres de collage, les carreaux de plâtre et enfin les enduits de joints.[1]

3. Aperçu sur l'origine des phosphates

La région de Bir El Ater de la wilaya de Tébessa est connue par sa richesse en phosphates ces minéraux se trouvant dans des formations d'âge géologique très différentes (Ex : cambrien, Permien, Crétacé supérieur, Éocène...). ... [2]

Les gisements phosphatés sont en général des minerais d'origines ignées (magmatiques) ou des dépôts sédimentaires. ... [3] Le dépôt des phosphates provient de la conjonction de plusieurs phénomènes. En simplifiant : à l'Éocène inférieur, la région subit une subsidence, le climat est chaud, aride, et ne permet pas la dissolution des cadavres d'animaux ; les sédiments ainsi accumulés constituent progressivement les phosphates sédimentaires sur de grandes épaisseurs... [4]

Le dépôt des phosphates algéro -Tunisiens s'est effectué dans une partie de la Mésogée où l'étroit bras de mer sur Tyrrhénienne, s'élargissant vers le Nord et vers le Sud, formait un golfe profondément enfoncé dans la plate-forme saharienne. Mais l'irrégularité des conditions bathymétriques, dans

diverses zones de ce golfe, y a déterminé certaines différences biologiques qui se retrouvent dans la composition de la faune fossile, et même dans la nature lithologique des dépôts. C'est ainsi que, dans la région axiale et dans le Nord de ce dans de mer, dominant des formations sub-bathyales à petits foraminifères, sans dépôts phosphatés importants, tandis que plus au sud, des formations néritiques à Nummulites renferment des niveaux importants de phosphates calcaires durs : ce sont les gisements de phosphates tendres de la région du Gafsa et du Djebel Onk ... [5]

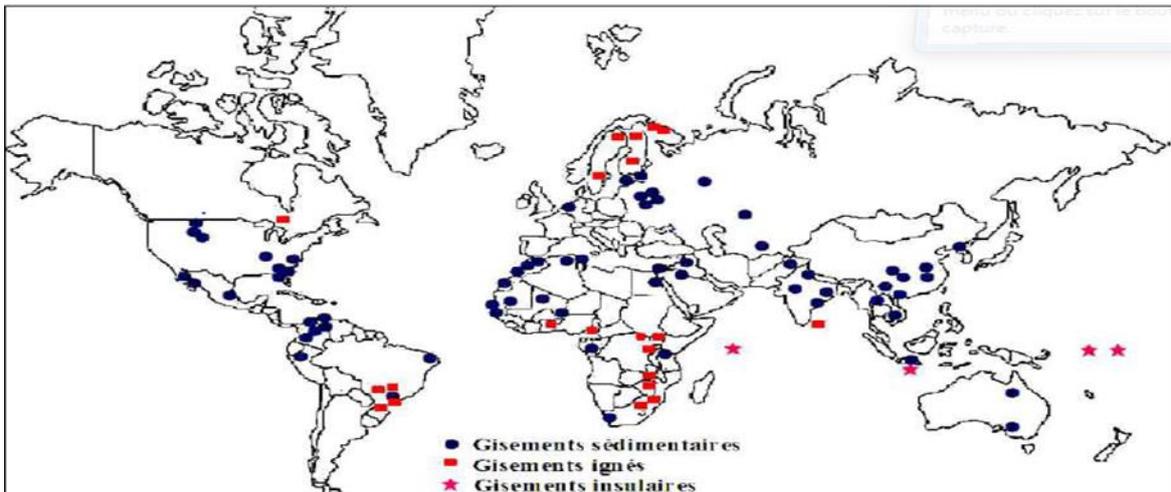


Figure 1.1 : Carte géologique des gisements de phosphate actuellement en exploitation au monde.

4. Situation géographique :

4.1 Situation géographique régionale de Djebel Onk :

La région du Djebel Onk, est située au Nord-Ouest du Sahara Algérien. Précisément, à l'Est de monts de Nemamcha, à une vingtaine de kilomètres de la frontière Algéro -Tunisienne. Elle constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux constantinois et le domaine saharien. Cette région appartient à la wilaya de Tébessa, elle est éloignée d'environ 100 km, la localité la plus importante est la ville de Bir El Ater qui est le siège administratif de la région.

Le massif de Djebel Onk forme un ensemble calcaire de 20 km de longueur qui culmine à 1198 m d'altitude au Djebel Tarfaya. Les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635 m... [06]

La région de Djebel Onk est subdivisée en 5 secteurs miniers: ... [07]

- Gisement de Djemi Djema, (Sud du massif du Djebel Onk).

- Gisement de Kef Esnoun, (Sud du massif du Djebel Onk).
- Gisement de Djbel Onk Nord, (Nord du center minier de Djemi Djema).
- Gisement d'Oued Betita, (Sud-Est du centre minier du Djemi Djema).
- Gisement de Bled El Hadba, (Sud-Est de Djebel Onk).

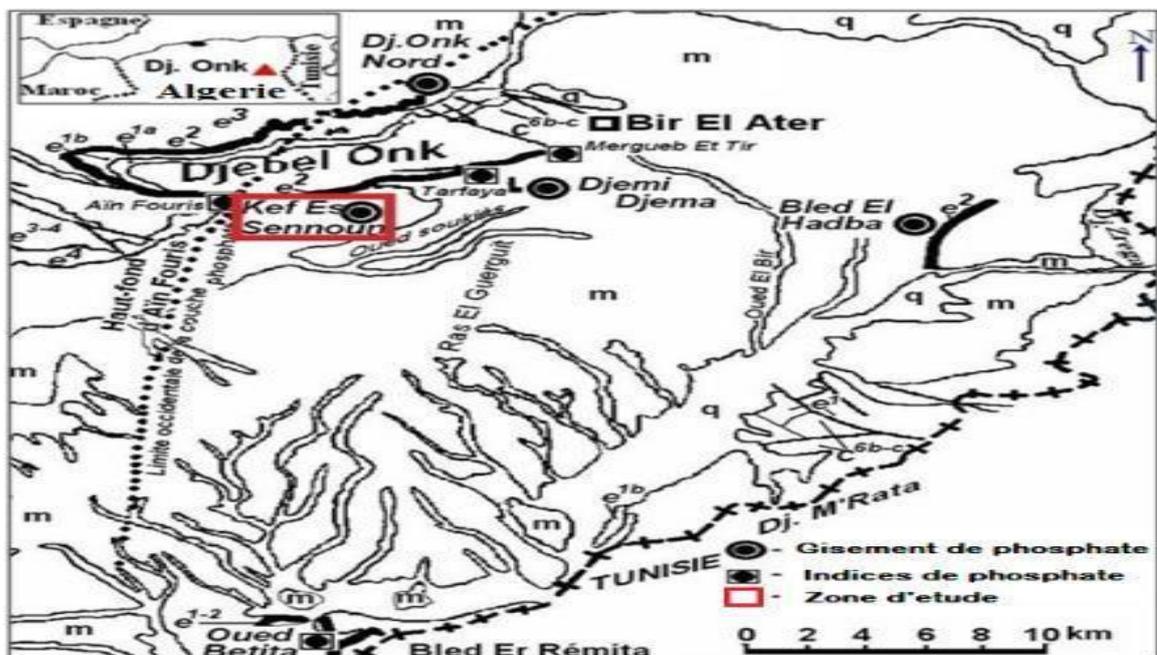


Figure 1.2 : Carte de situation géographique de la région de Djebel Onk.

4.2 Situation géographique de Kef-Esnoun.

Les coordonnées de ce gisement sont les suivantes : x 951.500 et y 168.0 à 170.0. Selon le rapport de l'EREM réalisé par Cieslinski et al. De 1985 à 1987, le gisement de Kef Esnoun est situé au Sud du massif du Djebel Onk à 4 km de la ville de Bir El Ater, le Siège administratif de la région (Daïra) est à 2 km à l'Ouest du gisement de Djemi Djema Entre le Djebel Fouris et le Djebel Tarfaya. Sa superficie, circonscrite par les sondages de Reconnaissance, est de 2.1 Km², soit 2.7 Km de longueur sur 0.8 Km de largeur. Topographiquement, la zone du gisement, située au pied de Djebel Kef Esnoun, constitue un plateau descendant en pente douce vers le Sud-ouest. Les cotes topographiques varient de 720 m au Sud –Ouest à 810 m au Nord-Est (dressant Nord). ... [08]



Figure 1.3 : Carrière de kef- Esnoun.

5. Contexte géologique

5.1 Géologie régionale de Djebel Onk

Le massif du Djebel Onk est un anticlinal asymétrique en genou, orienté N 80°. Le flanc Nord présente des pendages faibles inférieurs à 15° ; le flanc sud, au contraire plonge très rapidement et forme une falaise impressionnante, avec des dressants, dont le pendage est parfois vertical, et même renversé. L'ensemble est affecté des failles et de décrochements nombreux. À 750 m au Sud du Djebel Onk, apparaît un second anticlinal : le Djebel Djemi Djema dont la structure est analogue à celle du Djebel Onk, mais dont les dimensions sont plus modestes. Les deux anticlinaux sont situés en bordure de la flexure Sud aplanique zone d'affrontement entre le domaine aplanique mobile et plate-forme saharienne stable. Ils appartiennent à la branche nord de la flexure de direction Est-ouest, qui s'étend de Khangat sidi Nadji au Djebel Onk. Leur organisation et leur géométrie résultent d'une cinématique en décrochement dextre chevauchement le long de la transversale de N°120 dont l'activation a débuté au minimum au turonien et dont le paroxysme post pliocène... [09]

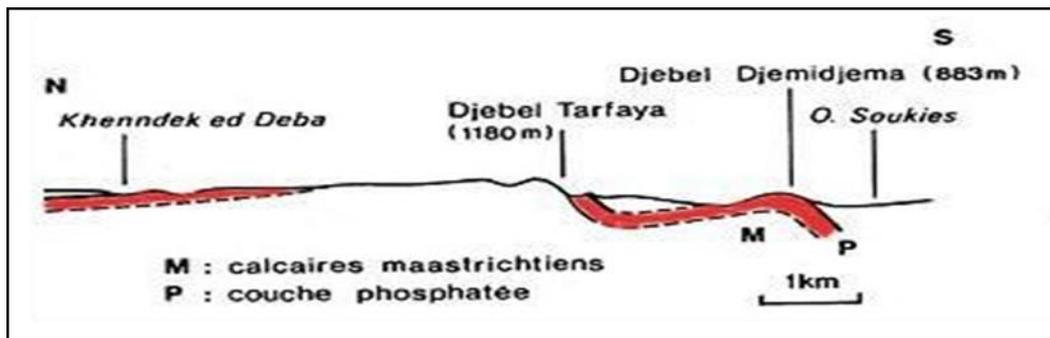


Figure 1.4 : Coupe transversale du Djebel Onk.

5.2. Présentation géologique de Kef Es Sennoun

C'est un gisement géologiquement bien connu et qui présente des conditions minières qui permettent une exploitation à ciel ouvert mécanisée classique :

L'importance du gisement se résume dans :

- la qualité de son minerai.
- Ses réserves.
- Ses conditions géo minières favorables.
- Ses paramètres techniques simples.
- Sa simplicité de point de vue exploitation (profondeur moins de 100 m, forte puissance de 25 à 35 m).

Le gisement de Kef Essenoun est caractérisé par :

- Une zone Nord dressant très accidentée.
- Un prolongement monoclinale des couches vers le Sud sous un angle de pendage (10- 12°) au-delà des affleurements et une autre Asexué plonge les couches phosphatées qui sont plus profondes.
- Un minerai riche en P2O5 qui varie entre 25,05 à 27,94 % pour une moyenne de 26,53 % et pauvre en MgO dont la teneur varie entre 1,3 et 3 % pour une moyenne de 2,61%.
- Absence de sable.
- Accès facile vers les autres parties (extension et avancement). [1]

6. Stratigraphie

Toute la séquence lithologique du Djebel Onk est rencontrée au Kef Esnnoun, mais il n'y a pas de différence due à la plus grande épaisseur verticale des faisceaux de phosphate (jusqu'à 53 m dans certains levés). Au gisement de Kef Esnnoun succèdent les lithologies suivantes de bas en haut (Cielensky et al. 1985, 1987) : la formation de Lower Tanatia (la paroi de la colonne de phosphate) est

représentée par une marne foncée stratifiée avec localement insérer, dans la partie inférieure, deux couches sub-métriques de phosphate dolomitique.

Le faisceau phosphaté, appartenant au Thanétien supérieur est constitué par une couche Unique de phosphate sans intercalation stérile.

Au toit du faisceau phosphaté, apparaît la série calcaro-dolomitique à silex de l'Yprésien, Au-dessus de laquelle se dépose localement les calcaires Lutécien, puis les sables du Miocène et en dernier les dépôts récents du Quaternaire constitués essentiellement d'alluvions. L'épaisseur totale du recouvrement stérile varie de 40 m au nord à 198 m au sud ... [10]

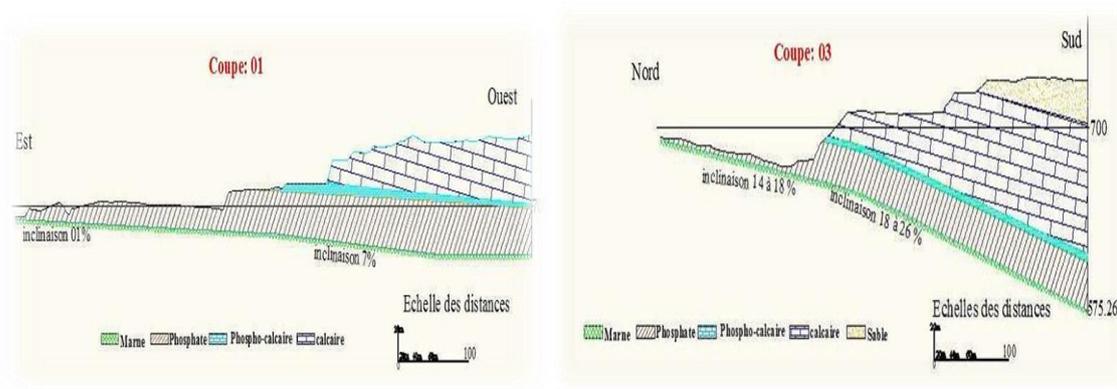


Figure 1.5 : Coupes géologiques à travers le gisement de Kef Esnnoun.

7. Etude stratigraphie et lithologique

La stratigraphie de la région de Djebel Onk a été établie par Visse (1952). La série sédimentaire affleurante est exprimée par une succession stratigraphique allant du Crétacé Supérieur (Maestrichtien) à l'Éocène moyen (lutécien), surmontée par une série sable Argileuse continentale datée du Miocène et du Quaternaire.

7.1 Crétacé

Ce sont les sédiments les plus anciens au cœur de l'anticlinal du Djebel Onk. Tectoniquement, ces formations sont très accidentées, seuls les dépôts du Maestrichtien y affleurent. [11]

Maestrichtien : les sédiments de cet âge sont représentés par des calcaires blancs massifs avec des intercalations marneuses au cœur de l'anticlinal de Djebel El-Onk. Le sommet est marqué par une surface ferrugineuse et taraudée.

7.2 Paléocène

Il est représenté par des sédiments marins assez épais (350 m).

A. Danien

Le Danien est subdivisé litho logiquement en deux sous-étages : inférieur et supérieur.

- Danien inférieur

Il est représenté par des argiles marneuses et schisteuses, de couleur gris foncé au brun vert, l'épaisseur du Danien inférieur est de 30 à 40 m.

- Danien supérieur

Il est formé par des calcaires durs blancs, l'épaisseur varie d'une dizaine de centimètre à un mètre.

B. Montien

Il est représenté par des calcaires détritiques à lumachelles avec des intercalations de marnes et de dolomie ainsi qu'une faible quantité de silex rencontrée. L'épaisseur moyenne est de 100 m.

C. Thanétien

C'est l'horizon porteur de la minéralisation. Il est visible sur le flanc de l'anticlinale de Djebel Onk avec une épaisseur de 72 m. Il se subdivise en deux parties :

- *Thanétien inférieur*

Le Thanétien inférieur est représenté par des marnes gris foncé à noires schisteuses. Dans la partie inférieure, on note la présence des conglomérats et de minces lits phosphatés ainsi que deux niveaux de marnes à faunes. La puissance varie de 30 à 40 m.

- *Thanétien supérieur*

Il débute par un niveau dolomitique à gastéropodes, sous – jacent à une couche phosphatée de 30 m d'épaisseur en moyenne à Djebel Onk et à Bled El Hadba, et qui diminue jusqu'à la disparition vers le Nord, l'Ouest et le sud de ce gisement se termine généralement par un niveau lumachellique. La limite entre le Thanétien et l'Yprésien est obtenue seulement par le changement du faciès phosphaté à celui de calcaire marneux à une épaisseur de 0 à 50 m.

7.3 Eocène

A. Yprésien

Il repose directement sur les dépôts du Thanétien et affleure dans la carrière de Djemi

- Djema et au Nord du Djebel Onk, il a une épaisseur de 32 m, on note :

- Yprésien inférieur : Il est représenté à la base, par des conglomérats marquant la Limite avec le Thanétien et sous - jacent une couche à alternance de calcaire, marne, dolomie et de la couche phosphatée. On note la présence de couches minces de silex dans les calcaires. L'épaisseur moyenne de l'Yprésien Inférieur est de 30 m au maximum.
- Yprésien supérieur : Il est constitué par l'alternance de calcaires, calcaire dolomitique et marnes, sa puissance est de 2 à 3 m.

B. Lutétien

Les formations de cet étage recouvrent en concordance les séries yprésiennes. Elles sont répandues dans la région de Djebel-Onk (270 m d'épaisseur). On distingue de bas en haut:

•Lutétien inférieur

Il est caractérisé par une diminution remarquable des calcaires qui sont remplacés par les marnes blanches crayeuses. On note l'existence de géodes de quartz et de nodules de silex, avec une faune caractéristique (Hemither Sitéa Moracano).Sa puissance varie de 40 à 50 m.

•Lutétien supérieur

Ce faciès est évaporitique : il est constitué de gypse et d'argile verdâtre, argile phosphaté verte et bancs de calcaire. A la base, on distingue l'argile verte phosphatée et des bancs de calcaire d'une épaisseur de 10 m. Au sommet, des argiles vertes avec banc de gypse intercalé. Son épaisseur est de 65 m.

7.4 Miocène

La datation des roches de Miocène a été faite grâce à la découverte des rares fossiles (HelixTissiti), il est formé essentiellement par des sédiments représentés par des roches terrigènes (conglomérats, gros, sables, argile) et des schistes argile Gréseux. Tandis que les sédiments de la région de Bled El Hadba sont composés de nombreux Fragments solidifiés. Le Miocène est subdivisé en trois unités de bas en haut :

- Miocène inférieur :
début par des conglomérats, sable à gros grain présentant une épaisseur d'une dizaine de centimètres à quelque mètre, surmontés par des sables blancs avec intercalation d'argile bruns, ou gris beige, sa puissance atteint plus de 200 m.
- Miocène moyen :

Il est constitué d'argile marron, d'argile à structure schisteuse, Brune, la puissance est d'environ 100 m.

- Miocène supérieur :

On constate la présence des sables, gros à blanc de graviers, le Matériel est très grossier nettement stratifié.

7.5 Quaternaire

Les formations quaternaires couvrent de vastes surfaces dans la région. Elles sont représentées par des éboulis de pente, de dépôts sableux, des graviers, de dépôts éoliens, alluviaux et fluviaux [10]

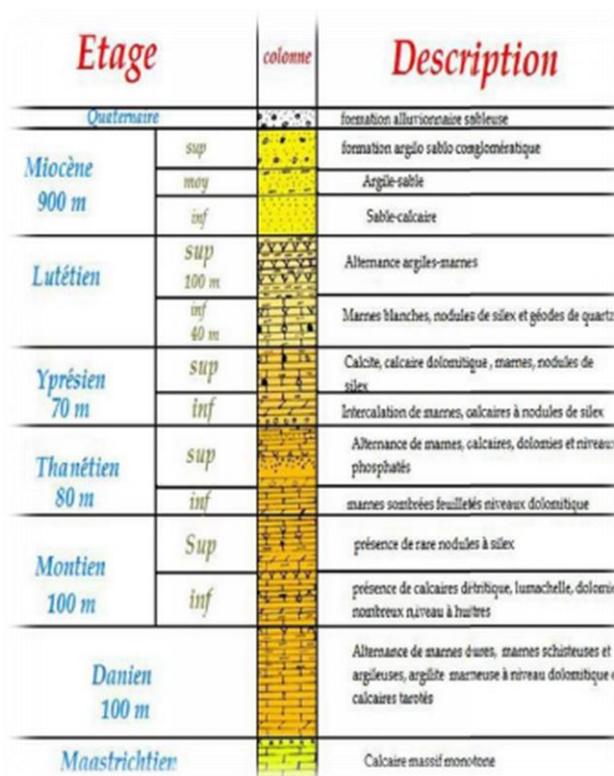


Figure 1.6 : Colonne stratigraphique de la région de Djebel El Onk

(D'après Cielensky, Benchernine et Watkowski, 1987).

CHAPITRE II :
GENERALITE ET CARACTERISATION DU SABLE.

1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons donner une présentation générale sur les propriétés des différents types de sables utilisés dans le domaine de génie civil. Notamment leurs mécanismes de formation, classifications et les critères de sélection pour leurs emplois en construction.

Le terme sable est souvent utilisé pour désigner un mélange de particules lâches non-cohésives, généralement de taille comprise entre 0,062 et 5 mm. D'un point de vue géologique, le mot sable comprend deux aspects : l'aspect granulométrique (grain aspect) et l'aspect granulométrique. Aspects minéralogiques (propriétés minéralogiques des grains). Une seule particule s'appelle un grain de sable.

2. Les différents constituants du sable :

Le sable comporte différentes variétés de minéraux qui sont dérivés de l'élément de base le silicium (Si). Ces principaux minéraux sont classés comme suit : silice, silicates, argiles et carbonates. Ces dernières se trouvent généralement sous forme de trace dans le sable [12].

2.1 Le silicium :

Le silicium est une substance pure, symbole chimique Si, numéro atomique 14, masse atomique 28,08 Mo/.

2.2 La silice (ou quartz SiO_2) :

Le dioxyde de silicium ou silice occupe parmi les oxydes, une place exceptionnelle. Les nombreuses applications industrielles (optique, électronique, production de matériaux réfractaires, etc.).

2.3 Les silicates :

Les silicates sont une famille importante de minéraux dérivés du dioxyde de silicium (SiO_2), car ils constituent 97 % de la croûte terrestre.

2.4 Les argiles :

L'argile comprend tous les matériaux dont le diamètre équivalent particulaire n'excède pas 2 mm. Ils correspondent à des minéraux spécifiques jamais rencontrés dans des particules plus grosses. Ces minéraux sont des silicates d'aluminium hydratés, qui appartiennent à la famille des silicates stratifiés à structure cristalline.

3. Classifications des sables :

On peut classer les sables selon dont [14] :

3.1 La granularité :

Permet de séparer les sable en trois catégories sont: sables fins, sables moyens, sables grossiers.

3.2 La propreté et la teneur en fines :

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

3.3 La nature minéralogique :

En général, les sables peuvent être classés comme suit:

- ✓ Sables siliceux.
- ✓ Sables silico-calcaires.
- ✓ Sable scalaires.

3.4 Leurs provenances :

Selon leurs provenances [15], les sables peuvent être classés comme suit :

- **Sable de rivière** : obtenu en draguant les lits des rivières. Il doit être dur et propre pour être utilisé dans le béton.
- **Sable de mer** : de la côte, pour le béton, pas trop fin, doit être lavé au sel.
- **Sable de carrière** : il contient généralement de l'argile qui enrobe les particules et les empêche de coller au liant. Alors évitez-le.
- **Sable artificiel** : obtenu par concassage de roche (calcaire dur, grès, etc.). Il est généralement rempli de remplissage. Pour le rendre utilisable dans le béton, le pourcentage de fines doit être limité.
- **Sable de dune** : un type de sable marin, très fin. Les dunes de sable ont rouvert dans le sud du pays. Ils sont situés dans la région présaharienne. .

4. Les caractéristiques du sable :

Les principaux critères utilisés pour caractériser un sable sont sa courbe granulométrique et sa rondeur. D'autres caractéristiques sont la teneur en matières argileuses, en coquillages et chlorures [16].

4.1 La courbe granulométrique :

La taille des particules mesure la dispersion des tailles de particules. Il est marqué de l'intervalle 0/X, où X donne la valeur en millimètres, où 85 % des particules ont des diamètres inférieurs ou égaux à X. Plus le X est petite, plus le sable est fin. La teneur en sable "fin" est également prise en compte. C'est la proportion de grains inférieurs à 0,063 mm. La teneur en particules affecte la façon dont le sable absorbe l'eau par capillarité. Le sable broyé est riche en fines à moins qu'il ne soit lavé. À l'inverse, le sable extrait des océans, des rivières ou des affouillements contient généralement des fines plus faibles, car les fines sont transportées avec l'eau.

4.2 La forme du grain :

Suivant l'origine du sable, la forme du grain est différente. Ainsi, un grain rond améliore la fluidité du sable et des mélanges auxquels il participe. À l'inverse, un grain anguleux favorise la résistance du matériau dont il fait partie. Les sables marins ou naturels sont plus ronds. Suivant leur origine les sables de rivière sont plus ou moins ronds. Les sables de concassage sont anguleux.

4.3 Autres caractéristiques techniques :

Outre la granularité et la forme des grains, le taux de chlorures, les teneurs en argile et en coquillages sont d'autres paramètres importants de la qualité du sable. L'argile étant retentée d'eau, une présence importante dans le sable affecte les dosages d'eau dans des applications comme le béton ou le mortier. L'argile apporte aussi un composant « gras » qui affecte, par exemple, la plasticité du sable. Les Principales applications du sable :

5.1 Les bétons :

Le béton est un mélange qui, une fois durci, doit reproduire les propriétés de résistance de la pierre. Il existe de nombreux types de béton, chacun avec ses propres avantages et utilisations. Deux paramètres importants sont la résistance et la maniabilité du mélange. Les qualités de résistance du béton seront d'autant meilleures que la partie « granulats » sera importante. L'ouvrabilité d'un béton est la capacité d'un mélange à être coulé. L'ajout d'eau en excès améliore l'ouvrabilité du mélange, mais provoque, outre une chute de résistance, des phénomènes de retrait et de fissuration.

5.2 Maçonnerie et mortiers :

Les sables sont essentiels dans la fabrication de mortiers et de mortiers de jointoiement de façade. Typiquement, un mortier est un mélange de ciment, de sable et d'eau. Suivant les cas, les qualités de mortiers diffèrent très fort. Ainsi, un particulier ou un petit entrepreneur réalise son mortier à partir du sable maçon qu'il trouve chez un négociant en matériau. Par contre, les mélanges sable et ciment pour mortiers préfabriqués vendus en sacs ou en silos ont une composition plus pointue, avec plusieurs types de sables en général [16].

5.3 Les mélanges bitumeux :

Une vision très réductrice des choses est de considérer que les matériaux bitumeux sont des bétons où le liant est du bitume. Outre le bitume, il est composé de fines, de sable et de granulats. En comparaison de l'enrobé, l'asphalte coulé se caractérise par une plus grande proportion de bitume et de fines. Les fines apportent de la consistance au mélange.

5.4 L'industrie du verre :

Le sable siliceux est la principale matière première dans la fabrication du verre. Si la silice vitrifie, les autres composants du sable tels les oxydes de fer et de manganèse sont des impuretés qui diminuent les qualités transparentes du verre. La granulométrie est aussi surveillée : la présence de fines n'est pas souhaitée, car elles génèrent des poussières et les grains trop gros ralentissent le processus de fusion. [16]

5.5 Autres usages :

Actuellement, le sable est largement utilisé dans le domaine de filtration, par exemple filtration de l'eau et filtration des produits toxiques. Dans le domaine optique, le sable est utilisé pour la production des verres de toute sorte. Le sable est la matière première pour l'extraction de dioxyde de silicium qui est lui-même la source de silicium pur. [12].

5. Sable de carrière :

Le sable de concassage résulte du découpage et broyage de grande pierre de carrière. Leurs formes sont souvent plus anguleuses avec des surfaces plus rugueuses que les granulats Naturelles, qui sont plus ronds avec des surfaces plus lisses.

Les propriétés globales du sable de concassage : la morphologie, la dureté, la densité, la Stabilité physique et chimique, ainsi que la couleur, dépendent de la source d'extraction [13].

6.1 Emploi du sable de carrières dans le béton :

Les granulats concassés issus de roche massive conviennent à la confection des bétons hydrauliques et à l'exécution des travaux de viabilité courants. Les bétons confectionnés à partir de granulats concassés de roche massive ont une moins bonne maniabilité que les bétons de granulats alluvionnaires. Pour atteindre une maniabilité comparable à celle des bétons de granulats alluvionnaire, il est nécessaire d'apporter une quantité d'eau supérieure au lange et d'augmenter le dosage en ciment dans des proportions variant de 10 à 30 kg/m³. L'addition d'un plastifiant est également recommandée toujours dans le but d'améliorer la maniabilité des bétons frais.

Concernant la résistance mécanique, les bétons fabriqués avec des granulats concassés de type Le basalte ont généralement des résistances à la compression supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires. Par ailleurs, à résistance à la compression égale, les résistances à la flexion des bétons de gravillons concassés peuvent être entre 10 à 20 % supérieures à celles des bétons de gravillons alluvionnaires.

6. Les Ressources des sables en Algérie :

Cependant, l'industrie du béton est confrontée ces dernières années à des changements importants : utilisation d'adjuvants de plus en plus performants, développement de nouveaux bétons. Dans notre pays, s'ajoute un bouleversement supplémentaire : l'emploi d'un nouveau type de sable.

7.1 Les sables ronds siliceux :

Dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé.

7.2 Les sables de concassage calcaires :

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

7.3 Le sable de dune :

Le sable de dune de l'erg occidental occupe 6 % de la surface du Sahara Algérien. On distingue par sable éolien les sables de dune, qui sont le résultat de l'érosion provoqué par le vent et la température particulièrement dans les déserts. Ces sables se trouvent dans plusieurs régions du désert sous forme de

dunes qui occupent de vastes territoires. [18]

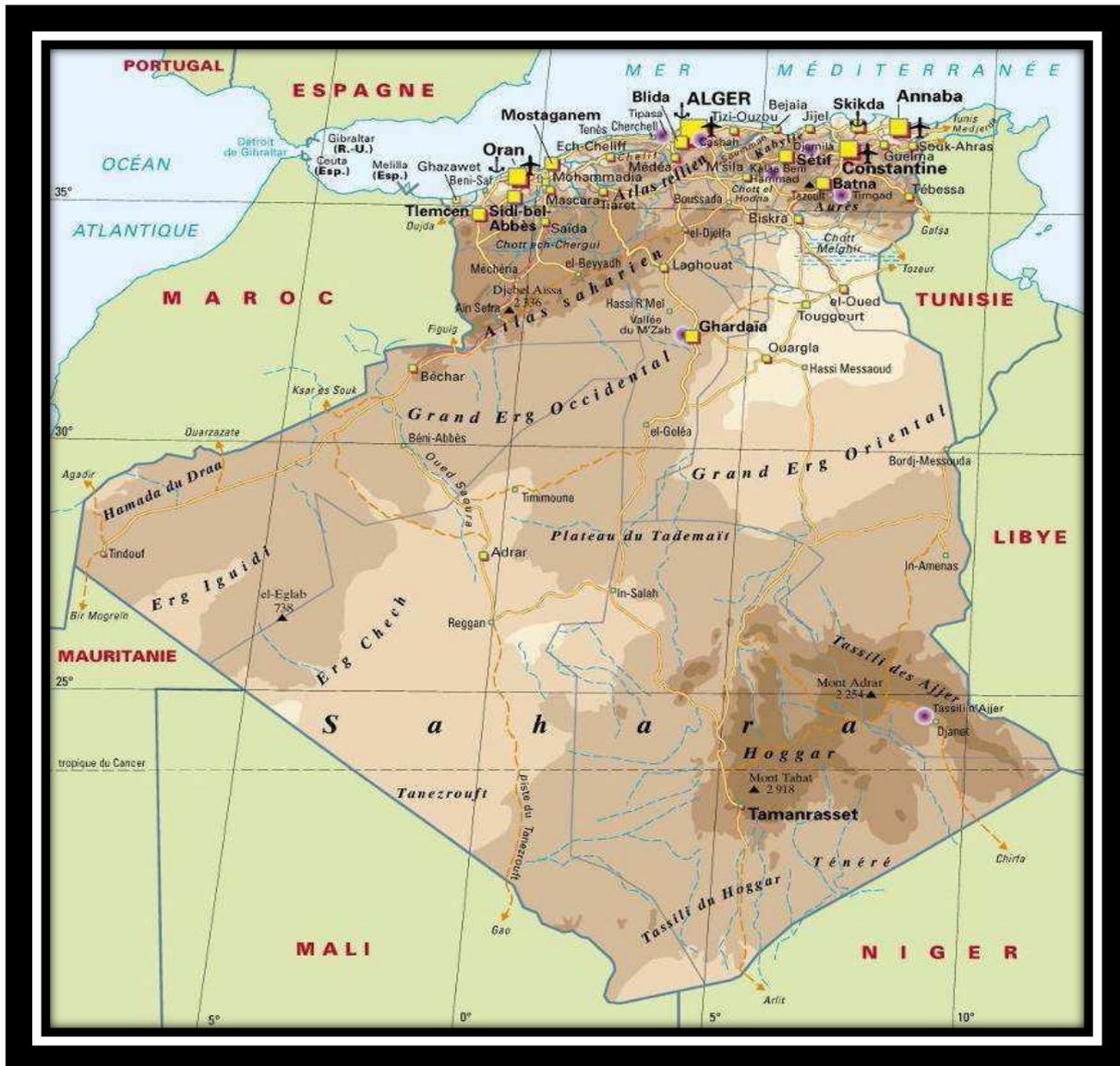


Figure 2.1 : Situation géographique des ergs de l'Algérie [17].

7. Utilisation de sable locale dans le béton en Algérie :

En Algérie, la plupart des bétons courants sont actuellement fabriqués avec des granulats siliceux alluvionnaires. Dans notre pays, malgré l'abondance de sable de dune dans le sud, ce matériau reste inconnu. Il est disponible dans près de 60% du territoire. [14]

De nombreux chercheurs, dans des thématiques scientifiques diverses, cherchent à exploiter ce type de sable, propre et présent à l'abondance. [17]

8.1 Sable dans la zone de kef-Esnoun :

Ils forment des couches à stratification entrecroisée très nette et où l'on note un certain granuloclasement.

Dans la partie inférieure, les sables sont grossiers, mais très vite ils passent à des sables fins à moyens blanchâtres non calcaireux. [19]

Localement on peut observer des affleurements de sable fin de couleur beige, jaune ou blanc jaunâtre. Ces sables se localisent surtout vers l'Ouest et l'Est du secteur.

Dans la zone d'activité de Kef-Esnoun (voir figure 2.2), tous les sables rencontrés sont de type moyen à grossier avec des niveaux plus fins. Ce sont des sables quartzeux blancs à transparent formant des couches à stratification entrecroisée. Les sables quartzeux se localisent surtout au centre du secteur (voir la figure 2.3). [19]



Figure 2.2 : Les sables du Kef-Esnoun.

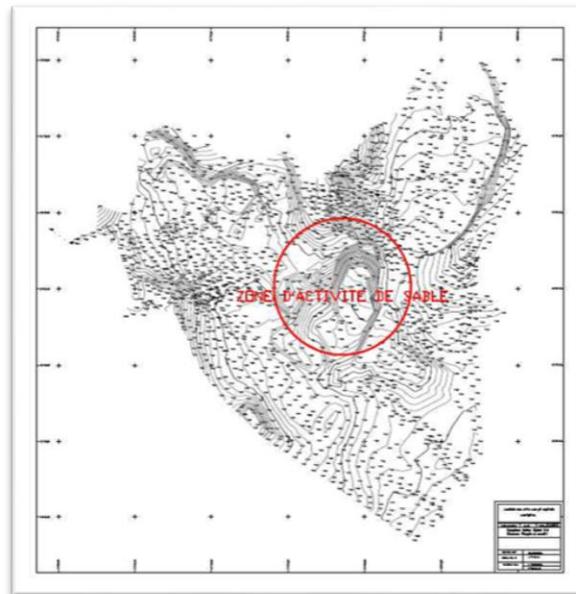


Figure 2.3 : Zone d'activité.

8.2 Réserves en sable :

Pour le calcul des réserves, on a utilisé la méthode des blocs géologiques la plus simple : on limite les blocs géologiques à partir des données des sondages, a été comparés à de simples nombres géométriques. Afin de pouvoir calculer leurs surfaces pour aboutir enfin aux volumes de ces blocs. [19].

En prévision d'une éventuelle exploitation du sable de la région de Djebel Onk sud, Djemi Djema Zone III, une estimation des réserves géologiques exploitable a été entamée en se basant sur la méthode la plus pratique qui est celle des blocs et elle a donné un tonnage de 77 424 250 (voir le tableau 2.1). [19]

Tableau 2.1 : Réserves en sable de Djebel Onk Sud. [19]

Secteur	Bloc	Surface (m ²)	Puissance moyenne (m)	Volume (m ³)	Densité (t/m ³)	Tonnage (t)
Kef Essenoun	A	551250	50	27562500	1,75	48234375
Djemi- Djema zone III	B	737850	60	44271000	1,75	77424250
PROLONGEMENT de Djemi – Djema zone III	C	1200000	70	84000000	1,75	147000000
RAS MARGUEB ET TIR	D	1150625	60	69037500	1,75	120815625
TOTAL						393474250

8. Etude expérimentale des propriétés physiques et chimiques :

Premier groupe appartient ceux qui permettent de préciser la nature d'un matériau et ainsi d'une part de le rattacher à un type et d'autre part d'achever le modèle du site. Chacun d'entre eux concerne un aspect particulier du matériau qu'il importe ou non de connaître selon le matériau et le genre d'étude que l'on réalise. [16].

9.1 Echantillonnage : NF XP P 18-553

La préparation d'un échantillon pour essai pour la norme [XP P 18-553] On appelle :

- Échantillon global : la réunion des différents prélèvements,
- Échantillon pour laboratoire : la masse de matériau nécessaire pour effectuer dans de bonnes conditions le ou les essais. Il est indispensable que cette quantité soit au moins deux fois plus grande que la masse nécessaire pour le ou les essais,
- Échantillon pour essai ou prise d'essai : la masse de matériau soumise à l'essai.

Tous les résultats des essais dépendent du soin apporté à la réalisation de cette opération de préparation. [20]

9.2 But et Principe de l'échantillonnage :

Les essais effectués en laboratoire portent nécessairement sur des quantités réduites de matériaux, celles-ci devant permettre de mesurer des paramètres caractéristiques de l'ensemble du

matériau dans lequel on a fait le prélèvement. Ce problème est complexe à résoudre mais il conditionne en grande partie la fiabilité des résultats obtenus au cours des essais de laboratoire. [20]



Figure 2.4: Échantillonneur.

Le prélèvement d'échantillons se fait en deux temps:

- ❖ Prélèvement sur le chantier, la carrière ou l'usine d'une quantité de matériaux nettement plus grande que celle qui sera utilisée pour l'essai proprement dit.
- ❖ Au laboratoire, prélèvement de la quantité nécessaire à l'essai et qui soit également représentative de l'échantillon de départ. [20]

9.3 Appareillage :

- **Appareillage d'usage courant :**

- Plateau en tôle pouvant entrer sous le plus grand des diviseurs.
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1%.
- Pelles et truelles.

- **Appareillage spécifique :**

Des diviseurs à couloirs (figure 2.4), avec bacs et pelles adéquats ou un diviseur à ouvertures réglables.

Diviseur échantillonneur à couloirs

- Pelle correspondante
- Bac

9.4 Exécution de l'essai :

✓ Séparation par quartage :

- Brasser le matériau.
- Constituer un tas homogène, étalé sur une surface lisse.
- Séparer le tas étalé en quatre parties à peu près égales, suivant deux axes perpendiculaires et prélever deux parties opposées.
- Mettre en tas étalé ces deux parties opposées et refaire l'opération si cette quantité est trop importante pour l'essai que l'on veut effectuer.

✓ Séparation au moyen de diviseurs :

- Verser le matériau à l'aide de la pelle dans le diviseur (figure 2.4). Veiller à ce qu'il soit uniformément réparti sur toute la surface de la pelle correspondant à l'appareil utilisé.
- La largeur des couloirs doit être supérieure ou égale à $2D$, D exprimé en millimètres est la plus grande dimension spécifiée.
- S'assurer que le nombre de couloirs est pair (en obstruant au besoin l'un des couloirs extrêmes), supérieur ou égal à 14 et que leur largeur est identique.
- Si la quantité obtenue dans chaque bac est trop importante pour l'essai envisagé, recommencer l'opération avec le matériau d'un des deux bacs.

✓ Prélèvement sur le tas (sables et graviers) :

Lorsque un matériau granulaire est mis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas tandis que le haut est plus riche en éléments de faibles diamètres, On prélèvera donc les matériaux en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas de granulats, afin d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble. Ces diverses fractions seront mélangées avec soin.

Dans le cas des matériaux de carrière, il faudra également prendre en compte l'hétérogénéité des différents bancs rocheux exploités. [20]

✓ **Échantillonnage en laboratoire :**

Le passage de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit, nécessaire à l'essai, peut se faire par quartage ou à l'aide d'un échantillonneur.

L'échantillon doit être séché à l'étuve à 105°C s'il est exempt de minéraux argileux, ce qui est rare, ou à 60°C dans le cas contraire [20].

9.5 Quartage :

L'échantillon est divisé en quatre parties égales dont on ne retient que la moitié en réunissant deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et un nouveau quartage est effectué, l'opération pouvant se répéter trois ou quatre fois. On obtient ainsi un échantillon représentatif du matériau initial (voir la figure 2.5). [20]

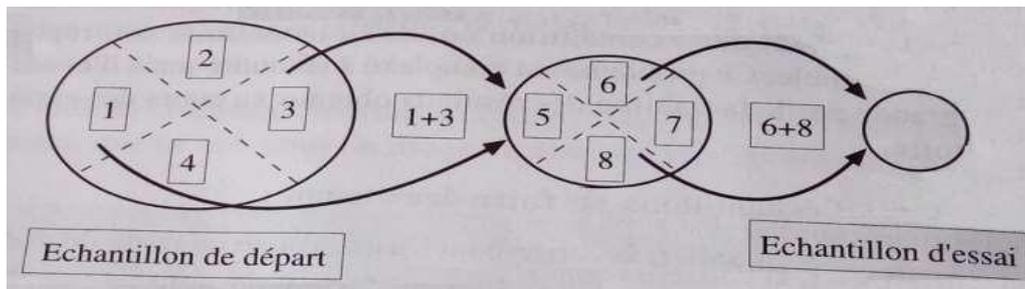


Figure 2.5 : Opération de quartage.

9.6 Échantillonneur :

Cet appareil de laboratoire permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque moitié étant recueillie dans un bac de manière séparée.

La répétition en cascade de cette opération, en retenant à chaque opération le contenu de l'un des bacs, permet d'obtenir, après trois ou quatre opérations identiques, la quantité de matériaux représentative et nécessaire à l'essai envisagé.

Le procédé peut être résumé par la figure (2.6) ci-dessous. Celle-ci permet de sélectionner une masse m à partir d'un prélèvement de masse $3m$. [20]

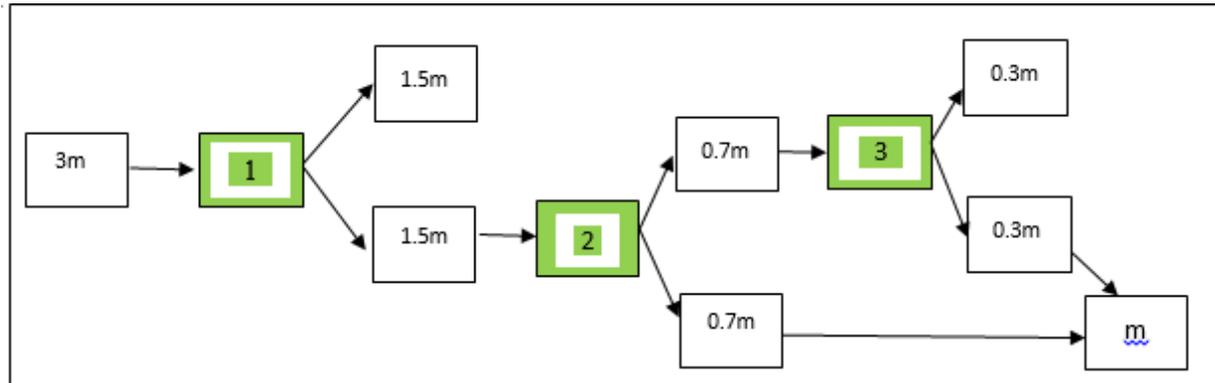


Figure 2.6 : Schéma d'une opération de quartage.

9.7 Les Essais physiques :

9.7.1 Analyse granulométrique Par Tamisage NF P 94-056 :

La granularité se mesure par tamisage par voies sèche après lavage pour les sols dont les éléments sont supérieurs à $80\mu m$ pour la norme actuelle (NF P 94-056) et $63\mu m$ pour la nouvelle norme (P94-512-4) et par sédimentation pour les éléments inférieurs ou égaux $80\mu m$ (NF P 94-057). L'analyse granulométrique du sol jusqu'au diamètre de $80\mu m$ (P18-560) ou $63\mu m$ (P94-512-4) se fait en utilisant une série de tamis. [22]

✓ But d'essai

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 6,3 mm, à l'exclusion des fillers. A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. [20]

✓ Principe

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique). OASIS en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Appareillage

- Bacs
- Tamis
- Balance
- Étuve ventilée réglée à $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$
- Machines de Tamiseuse électrique
- Dimension de tamis utilisés
- On utilisera général les tamis de modules 0,08 ; 0,2 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,5 ; 5 ; 6,3 (mm) (voir la figure 2.7)

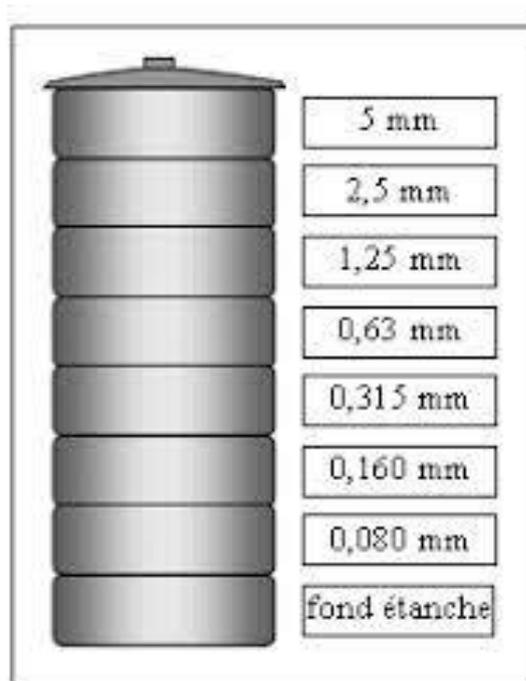


Figure 2.7 : L'organisation de la colonne des tamis.

✓ Mode opératoire

Après peser la masse de l'échantillon qui est $M=2500\text{g}$ (voir la figure 2.9) nous apportons les tamis et en les classant de haut en bas dans l'ordre de mailles décroissantes (voir la figure 2.11). nous versons le sable dans la colonne de tamis, et en la fermant .Nous agitons

mécaniquement cette colonne par l'appareil de tamisage(voir la figure 2.11) , puis reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle, et nous pesons chaque tamis.



Figure 2.8 : Les échantillons.



Figure 2.9 : La pesée de l'échantillon.



Figure 2.10 : La mise de chaque échantillon.



Figure 2.11 : L'agitation et l'organisation de chaque tamis pour le peser.

Tableau 2.2 : La classification des sols grenus dans la classification LCPC.

Définitions		Symboles	Conditions	Désignation géotechnique
GRAVES	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ (*) et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	grave propre bien graduée
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Une des conditions de Gb non satisfaite	grave propre mal graduée
	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A (fig. 2)	grave limoneuse
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	grave argileuse
SABLES	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	sable propre bien gradué
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Une des conditions de Sb non satisfaite	sable propre mal gradué
	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A	sable limoneux
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	sable argileux

Lorsque 5 % < % inférieur à 0,08 mm < 12 % → on utilise un double symbole.

8.7.2 Le calcul du module de finesse [NFP 18-540]

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié calcul du module de finesse. Celui-ci correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis d'ouverture (exprimée en mm) 0. 08, 0.20, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5 et 6.3. Ce paramètre est en particulier utilisé dans les calculs de composition des bétons. [24]

$$Mf (SB) = 3,2$$

$$Mf (SJ) = 3,02$$

✓ Interprétation des résultats :

Selon le tableau 2.5, le sable a des différentes classifications. Pour savoir quelle classification est notre sable, nous devons dépendre des caractéristiques dans le tableau 2.5. Nous trouvons que le sable est un sable propre mal gradué.

Après calculer le module de finesse, nous trouvons qu'il égale 3.2 pour sable blanc et 3.02 pour sable jaune. Et après dépendre sur le tableau 2.7, nous avons réalisé que notre sable est la série numéro 02. Donc c'est une sable moyenne a grossier.

9.7.3 Détermination de la masse volumique des particules solides des sols NF p 94-054 :

La détermination de la masse volumique des particules γ_s (NF p 94-054) s'effectue dans un appareil appelé pycnomètre. Une masse connue de sol séché à l'étuve m_s est introduite dans un petit ballon appelé pycnomètre contenant de l'eau distillée. On mesure le volume d'eau déplacé par les grains v_s après avoir supprimé toutes les bulles d'air. [22]

✓ But d'essai

La présente norme a pour objet la détermination, au pycnomètre à eau, de la masse volumique des particules solides de sol.

Cette norme définit les termes employés et les paramètres mesurés, spécifie les caractéristiques de l'appareillage, fixe le mode opératoire et précise les résultats à présenter.

✓ Principe

La masse des particules solides est obtenue par pesage. Le volume est mesuré au pycnomètre.

✓ Appareillage

- Une balance
- Un tamis à maille carrée de 5 mm d'ouverture
- Des pycnomètres de volume minimal 50 cm³ munis de bouchons rodés à tube capillaire
- L'entonnoir.

✓ Mode opératoire

Le pycnomètre et son bouchon sont pesés (M_0) après s'être assuré qu'ils étaient propres et secs (voir la figure 2.12). Ensuite, après le tamisage du 200g du sable sur un tamis du 5mm, nous l'apportons et nous le coulons dans un pycnomètre. Puis, nous le pesons (M_1) avec son contenu (voir la figure 2.12).

Par la suite, nous ajoutons un peu d'eau distillée ou déminéralisée au sable et nous le secouons bien jusqu'à la solution devient homogène. Après l'homogénéité de la solution, nous le remplissons par l'eau distillée jusqu'à la ligne maximale du pycnomètre et nous le pesons (M_2) (voir la figure 2.12).

En outre, le pycnomètre et son bouchon sont pesés (M_3) après s'être assuré qu'ils étaient remplis par l'eau distillée ou déminéralisée (voir la figure 2.12).

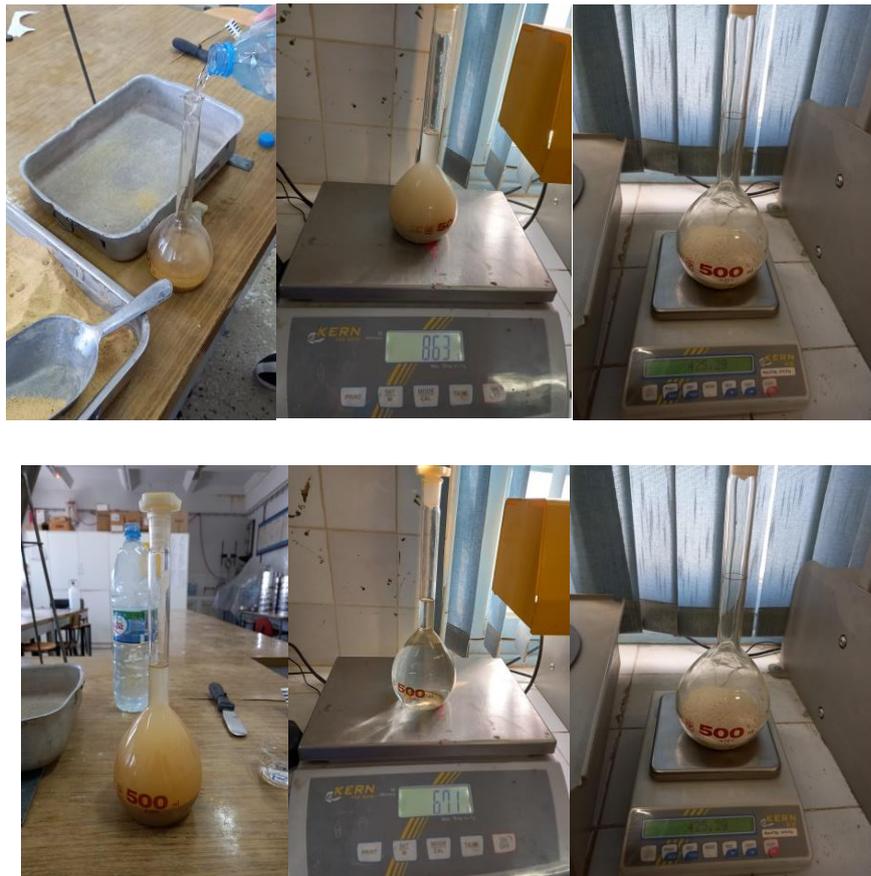


Figure 2.12 : L'opération D'Essai de la masse volumique avec pycnomètre Sur les deux types de sable

✓ Les résultats :

Masse spécifique: (par le pycnomètre):

Tableau 2.3 : Résultats d'essai poids spécifique.

	Essais 01 (sable jaune)	Essais 02 (sable blanc)	Essais 03 (Sable de carrières)
M0 (poids pycnomètre)	170,68g	170,68g	181g
M1 (pycnomètre + sol)	403,14g	425,3g	481g
M2 (pycnomètre + sol + eau)	812g	835g	848g
M3 (poids d'eau)	671g	671g	663g
Poids spécifique (g/cm3)	2541	2803	2,608

✓ Interprétation des résultats

Après calculer le poids spécifique γ_s , nous avons obtenu que $\gamma_s = 2608 \text{ kg/m}^3$ de sable carrière et 2803 kg/m^3 pour sable blanc et 2541 pour sable jaune. Selon la mesure du Poids spécifique γ_s dans le tableau 2.9, il était limité parmi 2600 et 2800 . Alors le type de sol est sols minéraux.

Tableau 2.4 : L'évaluation du type de sol et constituants par poids spécifique.

Quelques sols et constituants	Poids spécifique γ (kg.m3)
Sols minéraux	$2600 < \gamma_s < 2700$
Matière organique	$1200 < \gamma_s < 1500$
Sols organiques (MO > 30%)	$1400 < \gamma_s < 2000$
Eau (4°C)	$\gamma_s \approx 1000$
Air	— $< \gamma_s < 1,5$

9.7.4 Détermination de la masse volumique apparente :**Matériels Nécessaires :**

- Un entonnoir monté sur trépied
- Un récipient calibré
- Une règle à araser
- Une balance

Mode Opératoire :

- Peser une mesure (récipient) de volume 1 dm³, soit M₀
- Placer l'entonnoir au-dessus d'un récipient (1 litre).
- Fermer l'opercule,
- Verser environ 200 g de liant sur la passoire de la faire descendre dans l'entonnoir à l'aide de la spatule
- Ouvrir l'opercule, le liant tombe dans le récipient. refermer l'opercule.
- Recommencer avec de nouvelles quantités du liant, jusqu' à ce que le bol déborde
- Araser le refus de plâtre à l'aide de la spatule et peser (plâtre +récipient) .soit M₁

**Figure 2.13:** Détermination de la masse volumique apparent (sable blanc et sable jaune).

✓ **Les résultats**

La masse de plâtre est : $M1 - M0$

Masse volumique apparente du plâtre : $\rho = (M1 - M0) / V$

Remarque : Refaire pour trois échantillons et déterminer la masse volumique apparente moyenne.

Tableau 2.5 : Résultats d'essai masse volumique apparents.

Type de granulats	M0(g)	M1(g)	V (m3)	M1 - M2	P (g/m3)
Sable Blanc	280	1839	1000	1559	1,5
Sable Jaune	280	1831	1000	1551	6,8
Sable de carrières	181	481	1000	2608	

9.7.5 Équivalent de sable XP P 18-598 :

Si le sol grenu est pollué par des particules d'argile ou de limon, on peut déterminer la proportion relative de sil fin et de sol grenu par l'essai d'équivalent de sable. Cet essai est plutôt un essai de géotechnique routière, qui est de moins en moins employé (XP P 18-598). [22]

✓ **But d'essai**

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

✓ **Principe**

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée.

✓ **Appareillage**

- Éprouvette en plexiglas avec deux traits supérieurs et inférieur
- Entonnoir pour l'introduction du sable
- Bonbonne de 5l pour la solution lavant avec son bouchon et siphon et tube souple de 1.5m
- Tube laveur métallique plongeant, Un tamis

- Machine agitatrice, Règle métallique pour mesure
- Piston taré a masse coulissante de 1kg pour la mesure de ES.



Figure 2.14 : Le repos de l'éprouvette.



Figure 2.15 : La lecture de la hauteur h_2 .



Figure 2.16 : La descente du piston.



Figure 2.17 : La lecture de la hauteur h_2 .

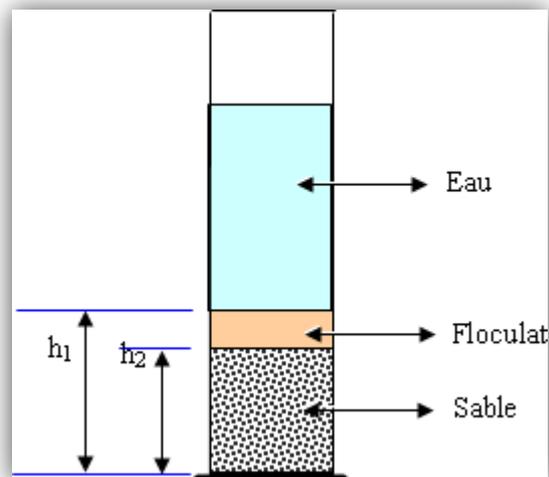


Figure 2.18 : Schéma essai équivalent de sable.

✓ Les résultats

ES est calculée à partir de l'équation : $ES = (h2 / h1) \times 100$

Tableau 2.6: Les résultats d'essai équivalent de sable.

	1er éprouvette cm (S.J)	2émé éprouvette cm (S.B)
Hauteur du flocculat h1	12 ,1	12,1
Hauteur du sédiment h2	9	10
Rapport (h2/h1) ×100%	0,74	0,82
Équivalent de sable Es(%)	72 %	82%

✓ Interprétation des résultats

Les préconisations en matière de propreté pour les sables utilisés dans les bétons sont les suivantes :

Tableau 2.7 : La nature et qualité du sable en fonction du ES.

ES	Nature et qualité du sable
ES<60	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60 ≤ ES<70	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
70 ≤ ES < 80	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES >80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

L'équivalent de sable du l'échantillon utilisé dans cet essai est **72%** pour le sable jaune. Selon le tableau II.6, il était limité parmi $70 \leq ES < 80$ Donc la nature et qualité du sable est Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.

Et **ES 82%** pour le sable blanc. Selon le tableau II.6, il était limité parmi **ES > 80** Donc la nature et qualité du sable est Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

9.7.6 Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène NF P 94-068 :

La valeur au bleu de méthylène VBS (NF P 94-068) représente la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée sur les surfaces externes et internes des particules de sol. Etant donné que dans un sol c'est avant tout la surface spécifique des particules argileuses qui détermine la surface spécifique totale, on considère que la VBS exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans ce sol. [28]

✓ **But d'essai**

L'essai au bleu de méthylène permet d'évaluer la surface spécifique d'échange (ou surface active suivant la fraction de sable utilisée pour l'essai) d'un matériau argileux.

L'essai a donc pour objet de mesurer la capacité d'adsorption du bleu de méthylène, c'est-à-dire la quantité de colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche mono-élémentaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses présentes dans 50 g de sable. [28]

✓ **Principe**

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol (sable) est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tâche.

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tâche.

✓ **Appareillage:**

- Papier-filtre.

- Tige de verre.
- Burette.
- Agitateur à ailettes capable de vitesses de rotation contrôlées variables pouvant atteindre 600 tr/min avec 3 ou 4 ailettes de 75 mm de diamètre.
- Balance technique.
- Tamis, avec des ouvertures de 2mm
- Bécher d'une capacité d'environ 1 l à 2l.
- Fiole d'une capacité de 1l.
- Etuve ventilée.
- Spatule.



Figure 2.19 : La solution de bleu méthylène.



Figure 2.20 : L'agitation du sable avec l'eau.



Figure 2.21 : La mise de bleu de méthylène dans
La burette.

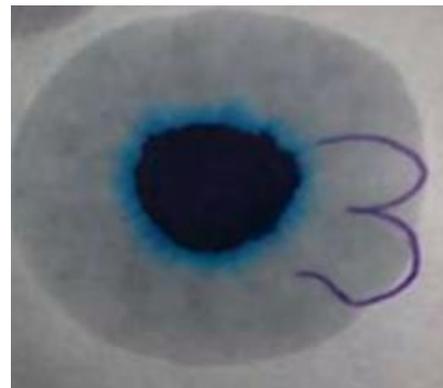


Figure 2.22 : L'essai positif.

✓ **Les résultats:**

Les calculs à exécuter sont :

$$mh1 = 527g$$

$$mh2 = 537g$$

$$ms2 = 52g$$

$$V = 175cm^3$$

- ❖ teneur en eau de l'échantillon soumis à l'essai (0/5 mm);

$$W = (mh2 - ms2) / ms2 = (537 - 52) / 52 = 9.7$$

- ❖ masse sèche de la prise d'essai;

$$m0 = (mh1) / (1 + W) = 527 / (1 + 9.7) = 49.06$$

- ❖ masse de bleu introduite (solution à 10 g/l);

$$B = V * 0.01 = 17 * 0.01 = 0.17$$

Pour les matériaux dont le D max est inférieur à 5 mm, l'expression du résultat est:

$$VBS = B / m0 * 100 = 0.17 / 49.06 * 100 \Rightarrow VBS = 0.3$$

✓ **Interprétation des résultats**

Après calculer la valeur de méthylène VBS, nous trouvons que ce dernier égal 0,3 pour les deux types de sable (SB et SJ). Selon la mesure du VBS dans le tableau 2.11, il était limité parmi 0,2 et 1,5. Alors la catégorie de sol est sable limoneux, sensible à l'eau.

Tableau 2.8: L'évaluation de la catégorie du sol par le VBS.

Valeur de bleu de méthylène (VBS)	Catégorie de sol
VBS < 0,1	Sol insensible à l'eau.
0,2 ≤ VBS < 1,5	Sol sable limoneux, sensible à l'eau.
1,5 ≤ VBS < 2,5	Sol sable argileux, peu plastiques.
2,5 ≤ VBS < 6	Sol limoneux e plasticité moyenne.
6 ≤ VBS < 8	Sol argileux.
VBS > 8	Sol très argileux.

9.7.7 Mesures de porosité :

Les vides du sol ne sont pas obligatoirement remplis d'eau, de sorte qu'il est nécessaire de fixer l'état de serrage du squelette granulaire par des paramètres commodes. L'indice des vides e est le rapport du volume des vides au volume des pleins. La porosité n est le rapport du volume des vides au volume total ($e=n/(1-n)$) Le degré de saturation $S\%$ d'un sol est le rapport du volume effectivement occupé par l'eau au volume total des vides. La teneur en eau du sol saturé est notée w_s . [21]

✓ **Principe**

La porosité est définie comme le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon.

✓ **Appareillage**

- Tamis de 4mm
- Balance
- Etuve, Entonnoir

Les résultats :

Porosité (en pourcentage) : $n= 100(M_w-M_s)/(M_w-M'_w)$

- $M_s = 316,38g$

- $M'_w = 374,78g$

- $M_w = 290,14g$

Donc : $n = 31\%$

✓ **Interprétation des résultats**

Après calculer la porosité du sable, nous n'avons obtenu que $n= 31\%$. Selon le tableau, il était limité parmi 25% et 35% alors le type de sol est sables grossiers.

Tableau 2.9: Le type de sol en fonction de porosité [21].

Les types des sols	La porosité (%)
Sol argileux et silteux	40-60
Sables fins	40-50
Sables moyens	35-40
Sables grossiers	25-35
Gravies	20-30
Sols tourbeux	80-85

La masse volumique minimale (état lâche) γ (NF p 94-059) est obtenue en mettant en place le sol sec dans un moule approprié sous une hauteur de chute nulle.

La masse volumique maximale (état très compact) γ_{dmax} est obtenue en mettant en place le sol sec dans un moule approprié muni d'une surcharge et placé sur une table vibrante.

On détermine ainsi l'indice des vides maximal e_{max} et l'indice des vides minimal e_{min} . La compacité d'un sol grenu est définie par l'indice de densité ID :

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}}$$

Suivant la valeur de ID la compacité du sol est lâche, moyenne ou dense. [22]

✓ Principe

L'essai consiste à mettre en œuvre dans un moule normalisé, selon une procédure déterminée, l'échantillon de sol à étudier, successivement dans un état lâche puis dans un état serré. Par convention, ces deux états sont considérés comme caractéristiques respectivement des compacités minimale et maximale du sol considéré.

✓ Appareillage

- Moule d'essai
- Table vibrante
- Bac
- Tamis 5mm
- Balance
- Règle à araser
- Spatule
- Entonnoir



Figure 2.23 : La pesée du moule vide.



Figure 2.24 : La pesée de moule et de son contenu.



Figure 2.25 : le coulage de sable dans le moule au-dessus de la vibration

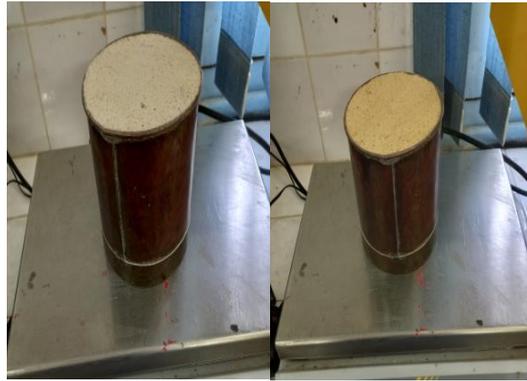


Figure 2.26 : La pesée du moule et de son contenu après la vibration.

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_d}}{\frac{1}{\gamma_{dmin}} - \frac{1}{\gamma_{dmax}}} \text{ avec } e_{max} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{dmin}} - 1 \text{ et } e_{min} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{dmax}} - 1$$

Ou :

e : est l'indice des vides du matériau ;

e_{max} : est l'indice des vides maximal du matériau;

e_{min} : est l'indice des vides minimal du matériau;

γ_s : est la masse volumique des particules solides;

γ_d : est la masse volumique sèche du matériau;

γ_{dmax} : est la masse volumique sèche maximale du matériau;

γ_{dmin} : est la masse volumique sèche minimale du matériau.

➤ Masse volumique minimale γ_{dmin}

Pour chaque prise d'essai, la masse volumique sèche de l'échantillon est calculée comme suit :

Où :

md : est la masse sèche de l'échantillon de sol ($md = m - mm$);

Vm : est le volume intérieur du moule d'essai ;

M : est la masse du moule et de son contenu;

mm : est la masse du moule d'essai;

Vm, mm sont mesurés lors de l'étalonnage de l'appareillage.

$$md = m - mm$$

$$\gamma_{dmin} = md / v_m$$

➤ **Indice des vides maximale e_{max}**

$$E_{max} = (\gamma_s) / \gamma_{dmin} - 1 \quad \gamma_s = 2.67 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Masse volumique maximale γ_{dmax}**

Pour chaque prise d'essai, la masse volumique sèche de l'échantillon est calculée comme suit :

$$\gamma_{dmax} = md / v$$

Où :

md est la masse sèche de l'échantillon de sol ($md = m - mm$) ;

V_e est le volume de l'échantillon de sol;

M est la masse du moule avec l'échantillon;

mm est la masse du moule d'essai obtenue lors de l'étalonnage.

➤ **Détermination du volume de l'échantillon de sol.**

Le volume de l'échantillon de sol V_e est calculé à partir des mesures géométriques du moule déterminées lors de l'étalonnage et des lectures des capteurs

$$V_e = A_m \left[H_m - h_c + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \right]$$

Avec :

A_m est l'aire de la section droite de la base du moule d'essai ;

H_m est la hauteur intérieure du moule d'essai ;

h_c est la hauteur de la cale de mesure;

h_i est la distance entre le dessus de la cale de mesure et le sommet du moule d'essai au droit du repérai.

$$A_m = (\pi \cdot D) / 4 \quad D = 11.29, \quad H_m = 10 \text{ cm}, \quad h_c = 2 \text{ cm}$$

$$V_e = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * (H_m - h_c)$$

$$V_e = (\pi * (11.29)^2) / 4 * (10 - 2) = 800.5 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{dmax} = \frac{m_d}{V_e}$$

➤ **Indice des vides minimal e_{min}**

$$e_{min} = \gamma_s / \gamma_{dmax} - 1$$

$$\gamma_s = 2.67 \text{ g/cm}^3$$

Indice des vides e : $e = 0.45$

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

Tableau 2.10 : Résultats des masses volumiques maximales et minimales.

Type de sable	mm (g)	M (g)	Md (g)	V_m	γ_{dmin} (g/cm ³)	Γ_d max (g/cm ³)	V_e	e min	E max	E	ID
Sable Blanc	280	1839	1559	1000	1,559	1,95	800,5	0,37	0,71	0,45	0,53
Sable Jaune	280	1831	1551	1000	1,551	1,94	800,5	0,38	0,72	0,45	0,55

✓ **Interprétation des résultats**

Après calculer l'indice de densité ID, nous avons obtenu que **ID=0,53** pour **sable blanc** et **ID=0,55** pour le **sable jaune**. Le rôle de L'indice de densité ID est la détermination du l'état du sol (voir le tableau 2.11). L'indice de densité était limité parmi 0,4 et 0,6, alors l'état du sol est moyennement dense.

Tableau 2.11 : Qualificatif de compacité du sol. [22]

État du sol	ID
Très lâche	ID<0,2
Lâche	0,2<ID<0,4
Moyennement dense	0,4<ID<0,6
Dense	0,6<ID<0,8
Très dense	ID>0,8

10. Les essais chimique :**10.1 L'analyse chimique :****FICHE TECHNIQUE**○ **(SABLE BLANC BRUT POUR FILTRATION) :**

Elément	Formule	%
Silice Totale	SiO ₂	97.60
Oxyde d'aluminium	Al ₂ O ₃	0.83
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	0.30
Oxyde de calcium	CaO	0.60
Oxyde de Magnésium	MgO	0.70
Oxyde de potassium	K ₂ O	0.50
Oxyde de sodium	Na ₂ O	0.10
Oxyde de titane	TiO ₂	0.049
Oxyde de chrome	Cr ₂ O ₃	0.037
Oxyde de manganèse	<u>MnO</u>	0.011
Anhydride phosphorique	P ₂ O ₅	0.086
Anhydride sulfurique	SO ₃	0.26
Perte au feu	/	0.38

○ (SABLE JAUNE BRUT) :

Elément	Formule	%
Silice Totale	SiO ₂	96.00
Oxyde d'aluminium	Al ₂ O ₃	0.91
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	0.35
Oxyde de calcium	CaO	0.84
Oxyde de Magnésium	MgO	0.20
Oxyde de potassium	K ₂ O	0.30
Oxyde de sodium	Na ₂ O	0.12
Oxyde de titane	TiO ₂	0.042
Oxyde de chrome	Cr ₂ O ₃	0.062
Oxyde de manganèse	<u>MnO</u>	0.011
Anhydride phosphorique	P ₂ O ₅	0.373
Anhydride sulfurique	SO ₃	0.24
Perte au feu	/	0.62

10.2 La mesure du PH :

Le PH qui entoure les particules de terre à l'état naturel est sujet à des variations en fonction des changements dans les rapports terre solution motivés par le climat, la culture et d'autres facteurs. On différencie, les sols acides (PH<5-6), les sols peu acides (6<PH<7), les sols neutres (7<PH<8), les sols calcaires (8<PH<9), les sols sodiques (PH>9). [28]

✓ **Principe**

Le PH est estimé en comparant la couleur du réactif avec une échelle de référence située sur le diagramme de ph mètre.

✓ **Appareillage**

Les matériels utilisés et la matière

- Bécher
- L'eau déminéralisée ou distillée
- Les sable
- Les papiers test de pH

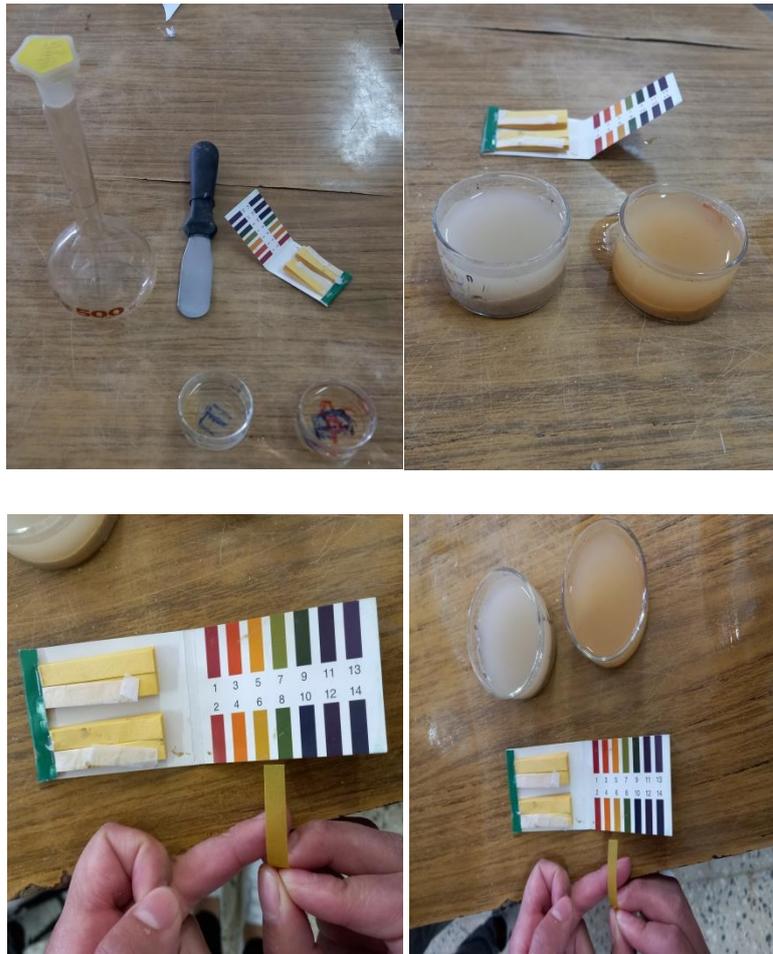


Figure 2.29: Les matériels utilisés et la matière.

✓ **Les résultats et interprétation:**

Après l'expérience et la comparaison du résultat avec l'échelle de couleurs du PH, nous avons obtenu le PH = 6,8. Selon la mesure du PH dans le tableau (2.12), il était limité parmi 6 et 7 alors le type de sol est peu acide.

Tableau 2.12 : L'évaluation du type de sol par le PH [22]

Le PH	Type des sols
PH<5-6	Les sols acides
6<PH<7	Les sols peu acides
7<PH<8	Les sols neutre
8<PH<9	Les sols calcaires
PH>9	Les sols sodiques

VOIR le résumé de tous les essais soit physique chimique et mécaniques sur le sable dans le tableau suivant :

Tableau 2.13 : Les résultats des essais.

A.G		M.V(g/cm ³)	ES	VBS	PH
Sabl e jaune	Sable propre mal graduée MF = 3.02	Ps=2.601 ρ= 1.554 γ_{dmin}=1.551 γ_{dmax}=1.94 ID= 0.53	72%	0.3 Sol sable limoneux, sensible à l'eau	6,8 sols peu acides
Sable blanc	Sable propre mal graduée MF = 3.02	Ps=2.574 ρ= 1.544 γ_{dmin}=1.559 γ_{dmax}=1.95 ID= 0.53	82%	0.3 sable limoneux, sensible à l'eau	6,4 sols peu acides

CHAPITRE III :
CARACTERISTIQUE ET METHODES DE LA
FORMULATION DE BETON

1. Introduction :

Le béton est, aujourd'hui, le matériau le plus consommé sur la planète après l'eau. Il constitue un monopole quasi total par rapport aux autres matériaux de construction. Le béton, que nous connaissons actuellement, est le résultat de plusieurs années d'études et d'expérimentation. Les Romains et les Egyptiens utilisaient déjà des matériaux comparables pour leurs constructions. Cette évolution du béton amène aujourd'hui à une production annuelle mondiale de plus de 6 milliards de mètres cubes.

Le béton est à l'heure actuelle au centre d'enjeux économiques, politiques, technologiques et environnementaux importants. Le béton de ciment notamment, est l'un des matériaux de construction le plus utilisé au monde. Le béton est un mélange soigneusement dosé de ciment, de granulats, d'eau et d'adjuvants et il peut varier en fonction de ses utilisations.

La qualité du béton se trouve alors au centre des polémiques. Cela est probablement dû à la nature de conception et de confection du béton.

2. Définition :

Le béton est un matériau composite aggloméré, constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 pour l'eau à plus de 3 pour le ciment (en t/m³). En bref, le béton est un : Mélange d'agrégat (sable plus granulats) et de la pâte composée de ciment, d'eau et d'adjuvant.

3. Les composants d'un béton :

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et, le plus souvent, adjuvants, qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³ ; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 µm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). [23].

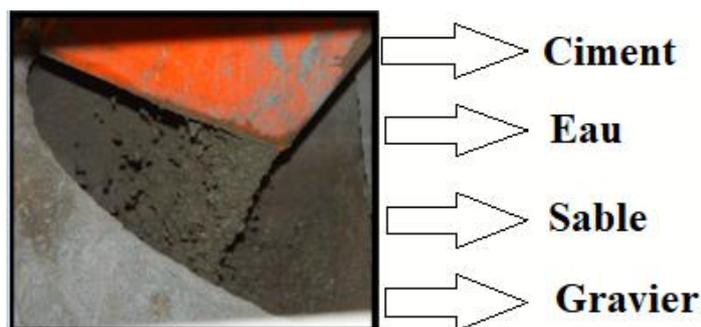


Figure 3.1 : Les composants d'un béton.

Tableau 3.1 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un Béton ordinaire [24].

Constituants	Volume (%)	Poids(%)
Granulats	60-78	65-85
Ciment	7-14	9-18
Eau	14-22	5-9
Air	1-6	-

La confection d'un béton approprié à sa destination consiste, à déterminer et à optimiser la composition granululaire et le dosage des divers constituants.

Dans les bétons les plus simples, le squelette granululaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport (E/C), vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport (E/C) joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers,..) peuvent être rajoutées dans le but de modifier les propriétés du béton.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de super plastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à l'atteinte d'une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange [25].

4. Ciment

4.1 Définition :

C'est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant, les 1450 °C .Broyés sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau forment des minéraux hydratés très stables.

4.2 Classification des ciments :

- **Classification suivant la composition :**

La norme européenne [26] 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.

4.3 L'eau de gâchage :

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation.

5. Granulaire :

5.1 Définition :

La plupart des définitions relatives aux granulats sont empruntées du texte de la norme [27].

Un granulat est un ensemble de grains compris entre 0 et 125 mm, ci des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton.

5.2 Caractéristiques géométriques des granulats :

5.2.1. Classe granulaire :

Les granulats sont classés en fonction de leurs grosseurs déterminées par criblage sur les tamis à mailles dont la dimension intérieure est exprimée en millimètres (mm) [28].

Le terme granulat d/D est réservé aux granulats dont les dimensions s'étalent de d pour les petits éléments à D pour les gros éléments. La norme expérimentale [29] précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles.

La norme [24] distingue quatre familles de granulats: les fillers, les sablons, les sables et les gravillons, et également quatre catégories pour les granulats naturels A, B, C et D [28].

- Filler 0/D pour $D < 2$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm.
- Sablon 0/D pour $D < 1$ mm et ayant au moins 70 % de grains passant au tamis de 0,63 mm.
- Sable 0/D lorsque D est tel que : $1 \text{ mm} < D \leq 6,33$ mm.
- Graves 0/D lorsque $D > 6,3$ mm.
- Gravillons d/D lorsque $d \geq 1$ mm et $D \leq 125$ mm.
- Ballast d/D lorsque $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm.

La classe des granulats est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont les dimensions suivantes en (mm) : [28]

0.063 ; 0.08 ; 0.100 ; 0.125 ; 0.160 ; 0.200 ; 0.250 ; 0.315 ; 0.40 ; 0.50 ; 0.63 ; 0.80 ; 1.00 ;

1.25 ; 1.60 ; 2.00 ; 2.50 ; 3.15 ; 4.00 ; 5.00 ; 6.30 ; 8.00 ; 10.00 ; 12.50 ; 16.00 ; 20.00 ; 25.00 ;

31.50 ; 40.00 ; 50.00 ; 63.00 ; 80.00 ; 100.00 ; 125.00.



Figure 3.2 : Série des tamis pour la granulométrie.

5.2 Granulométrie :

L'analyse granulométrique consiste à fractionner le matériau en différentes coupures au moyen de tamis [30]. Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale sèche du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique) [31]. Une bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour obtenir un béton maniable [28].

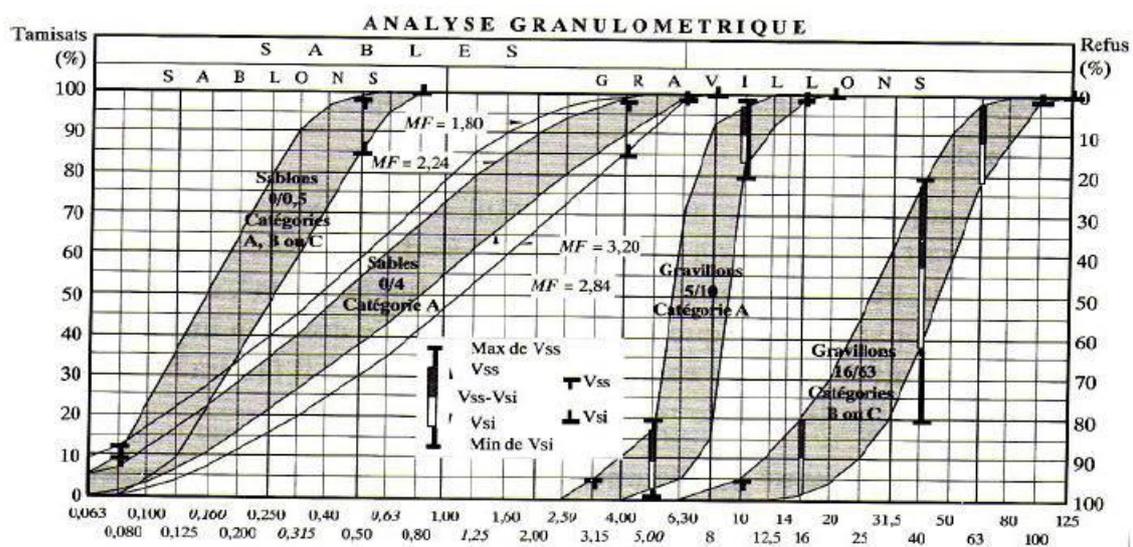


Figure 3.3 : Exemple de courbe granulaire des granulats pour béton [28].

5.3.3 Le coefficient d'aplatissement (A) :

Le coefficient d'aplatissement caractérise donc la forme des granulats à partir de leur plus grande dimension et de leur épaisseur est par définition le pourcentage d'éléments tels que $G/E > 1.58$, [28]. (G représentant en fait la dimension de la maille carrée minimale au travers de laquelle passe l'élément). Le coefficient A est déterminé selon la norme [40] par un double tamisage. Puis par un second tamisage des refus retenus sur les différents tamis sur une série de grilles à fentes parallèles, le rapport entre les dimensions des tamis et des grilles étant de 1.58. L'ancienne norme [P 18 541] spécifiait que la valeur du coefficient d'aplatissement doit être $A \leq 30 \%$ [23]

5.3 Caractéristiques physiques :

5.3.1 La Masse volumique apparente :

La masse volumique en vrac doit être déclarée et déterminée conformément à la norme européenne [32]. La masse sèche des granulats remplissant un conteneur spécifié est déterminée par pesage et la masse volumique en vrac correspondante est calculée. Le pourcentage de porosité inter granulaire se calcule à partir de la masse volumique en vrac et de la masse volumique réelle.

La masse volumique apparente donne par la formule suivant :

$$Mv = \frac{M2 - M1}{V}$$

L'essai de La Masse Volumique Apparente doit être réalisé selon la norme [32].



Figure 3.4 : Détermination de la masse volumique apparente.

5.3.2 La masse volumique absolue :

La masse volumique absolue doit être déclarée et déterminée conformément à la norme européenne [33]. La Masse Volumique Absolue donne par la formule suivant :

$$M_{v \text{ aps}} = M / (V1 - V2)$$

L'essai de la masse volumique absolue doit être réalisé selon la norme [33].



Figure 3.5 : Détermination de la masse volumique absolue.

5.3.3 Propreté des granulats :

La qualité des granulats utilisés dans les bétons est un facteur très important. Trois grandes catégories d'impuretés peuvent être rencontrées dans les granulats: matières organiques, les argiles et les matériaux fins .Leurs présence à la surface des granulats interférant avec le processus d'hydratation du ciment et empêche la bonne adhérence granulats-liants, entraînant ainsi une chute des résistances mécaniques et des variations de propriétés rhéologiques des mélanges. De telles impuretés semblent être plus courantes dans les sables que dans les gros granulats, plus facilement lavés [34].

5.3.4 Caractéristiques mécaniques (résistance à l'usure et aux chocs) :

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée. Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

6. Les essais utilisés :

6.1 Essai Micro-Deval :

Cet essai permet de mesurer la résistance à l'usure par frottements entre les granulats et une charge abrasive. Il consiste à mesurer la quantité d'élément inférieur à 1.6 mm produite dans un broyeur, dans des conditions bien définies, à sec ou en présence d'eau. Plus le coefficient Micro-Deval est élevé,

meilleur est le matériau [35]. Selon les normes [46,47], doit être 35% pour les granulats naturels. Le coefficient Micro-Deval (MDE) donne par la formule: $MDE = \frac{m}{M} \times 100$

L'essai Micro-Deval doit être réalisé selon la norme [47].



Figure 3.6 : Détermination de coefficient de Micro-Deval.

6.2. Essai Los Angeles :

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le matériau à une série de chocs et de frottement dans la machine Los Angeles (LA). À un coefficient Los Angeles faible correspond un excellent matériau [45]. Selon les normes [48,49] Le coefficient Los Angeles doit être ≤ 40 pour les granulats naturels type B.

Le coefficient Los Angeles (LA) donne par la formule : $LA = \frac{m}{M} \times 100$

L'essai Essai Los Angeles doit être réalisé selon la norme [49].



Figure 3.7 : Détermination de coefficient de Los Angeles.

7. Différent types de bétons :

7.1 Béton ordinaire :

Est un ensemble homogène obtenu par le mélange du ciment, de l'eau, des granulats et quelque fois d'adjuvants. Sa masse volumique se situe aux alentours de 2500 Kg/m³. Les bétons peuvent être armés ou non, ou même précontraints. Ses performances (durabilité, résistance au feu, etc.) varient selon ses composants. C'est un matériau dont le moulage est assez facile et il est adapté à tous les types de formes d'ouvrage [35].

7.2 Béton léger :

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m³. Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique [51].

7.3 Béton lourd :

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m³, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [36].

7.4 Béton de haute performance (BHP) :

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPA), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0.4. Leur propriété essentielle est leur grande résistance, en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires.

Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [48].

7.5 Béton a durcissement rapide :

Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication [50].

8. Propriété essentielles d'un béton :

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- **le béton frais** : mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

• **le béton durci** : solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques.

8.1 Propriété du béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage [42]. L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. Elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de béton ordinaire elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau. [39].

9. Malaxage :

Il faut suivre les étapes suivantes :

- Peser les quantités nécessaires des constituants pour un mélange.
- Introduire les granulats dans le récipient de malaxage du plus gros jusqu'au plus fin conformément à la norme NF P18-404.
- Ajouter du ciment aux granulats et les mélanger tous à sec puis avec l'eau de gâchage et l'ajoute d'un super plastifiant.

10. Moulage et démoulage :

Après le malaxage qui dure environ 5 minutes, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule. A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle selon les normes NF P18-422 et 423. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.

11. Essai d'affaissement au cône d'Abrams :

Cet Essai est effectué conformément aux prescriptions de la norme (NA EN 12350-2). C'est l'essai de mesure de consistance le plus employé et le plus connu universellement. Le moule utilisé pour réaliser cet essai est un cône tronqué de 30cm d'hauteur. Placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches d'égal volume. Chacune des couches est compactée avec 25 Coups d'une tige métallique normalisée, dont l'extrémité est arrondie. Une fois le cône rempli, le dessus de la surface doit être arasé en se servant de la tige et en effectuant des mouvements de va et vient. Durant ces opérations, le cône doit demeurer fixe sur la base lisse ; des écrous de serrage, situés à la base du cône, permettent de le maintenir immobile.

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse la différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est appelée l'affaissement. La valeur de l'affaissement est exprimée en cm (figure 3.8). [48]



Figure 3.8 : Mesure d'affaissement au cône d'Abrams.

Tableau 3.2 : classe de consistance (Slump test) [48].

Classe de consistances	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme plastique	0 à 4	1
	5 à 9	2
Très plastique fluide	10 à 15	3
	16	

11. Vibration : [NA EN 12390-2]

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un Béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'aptitude des oscillations, ainsi que de La durée de vibration.

- On commence par piqué de vibration qui utiliser pour vibrer le béton dans l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en frappe 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantillon.
- On faire la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.
- Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquer par peinture et conserver dans l'eau.

12. La masse volumique du béton frais :

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide, le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = (M2-M1)/V$$

Où

D : la masse volumique du béton frais, en (kg/m³) ;

M1 : la masse du récipient, en (kg) ;

M2 : la masse du récipient plus la masse de béton contenu dans le récipient, en (kg) ;

V : le volume du récipient, e en kilogrammes (kg).

12.1 Propriétés du béton durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années.

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité.
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

12.2 Essai de résistance à la compression :

La caractéristique essentielle d'un béton à l'état durci est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours. Le béton est un matériau qui travaille bien en compression.

La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cubique (100*100*100) mm] (voir figure 3.9). Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.



Figure 3.9 : Machine de compression



Figure 3.10: Eprouvettes cubiques et prismatiques

12.3 Essai de résistance à la flexion :

Pour effectuer cet essai, on a préparé trois éprouvettes prismatiques (100*100*400) (mm³) pour dans le but de prendre une valeur moyenne.

On tester chaque type du béton avec âge de 28 jours, dans le but de prendre un pourcentage optimal des fines (SC) pour béton à base de sable (SC) et pour obtenir des meilleurs résultats à résistance à la flexion.



Figure 3.11 : Machine de flexion.

12.4 Essai de résistance à la traction :

La résistance à la traction est également mesurée sur des éprouvettes (400*100*100) mm par l'essai de fendage conformément à la norme [50]. La résistance à la traction peut être déterminée par différents essais [36] :

- **Traction par fendage :** (essai brésilien).

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton placé suivant deux génératrices opposées entre les deux plateaux de la presse. La résistance en traction par fendage est donnée par l'équation suivante :

$$F_{ct} = \frac{2 F}{\pi D L}$$

Où :

F_{ct} : est la résistance en traction par fendage, en (MPa) ou en (N/m²) ;

F : est la charge maximale, (N) ;

L : est la longueur de la ligne de contact de l'éprouvette, en (mm) ;

D : est le diamètre nominal de l'éprouvette, en (mm).

L'essai d'écrasement doit être réalisé selon la norme [47].

13. Masse volumique du béton durci :

Calculer la masse volumique de l'échantillon au moyen des valeurs de masse et de volume précédemment déterminées, à l'aide de la formule suivant :

$$D = \frac{M}{V}$$

Où :

D : est la masse volumique, en (kg /m³), pour un état de l'échantillon et une méthode de détermination du volume données.

M : est la masse de l'échantillon, en (kg), pour un état de l'échantillon donné.

V : est le volume de l'échantillon, en (m³), déterminé selon la méthode choisie.

L'essai de la masse volumique doit être réalisé selon la norme [48].

13. La Porosité :

Une caractéristique essentielle du béton durci est sa porosité – rapport du volume des vides au volume total. Les études de Féret avaient déjà établi le lien entre la porosité du béton et sa résistance. L'importance de cette caractéristique sur la résistance du béton aux agents agressifs, sur la carbonatation et sur la tenue au gel a été démontrée depuis. C'est donc un facteur déterminant de la durabilité du béton

14. Influence du rapport eau/ciment (E/C) :

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides. Au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent [49]. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute

de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais. Le dosage du ciment est très souvent relié aux propriétés mécaniques du béton et à sa durabilité. On considère aussi que l'écoulement et l'ouvrabilité du béton sont reliés au rapport E/C. La formulation des bétons ordinaires doit impérativement passer par l'optimisation de ces paramètres. [43]

Neville, a montré que la courbe qui représente la résistance en fonction du rapport E/C avait l'allure d'une hyperbole. Le même auteur a montré que cette relation ne dépendait ni du type des granulats utilisés ni de l'âge du béton. Ce résultat a aussi été trouvé par Boukli Hacene [32] qui a montré aussi que cette relation dépend très peu du dosage en ciment (figure 3.12).

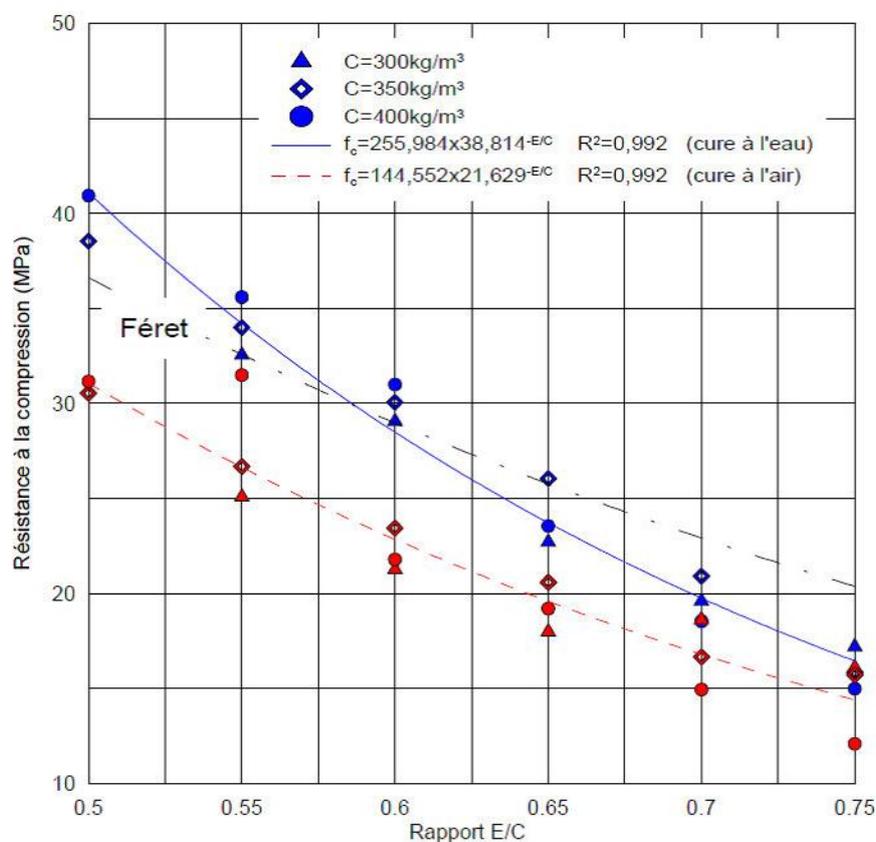


Figure 3.12 : Relation entre la résistance à la compression à 28 jours et le rapport eau/ciment .

Cependant d'autres auteurs ont montré que la relation était plutôt linéaire pour des valeurs du Rapport C/E compris entre 0.4 et 0.85 (figure 3.13) [50].

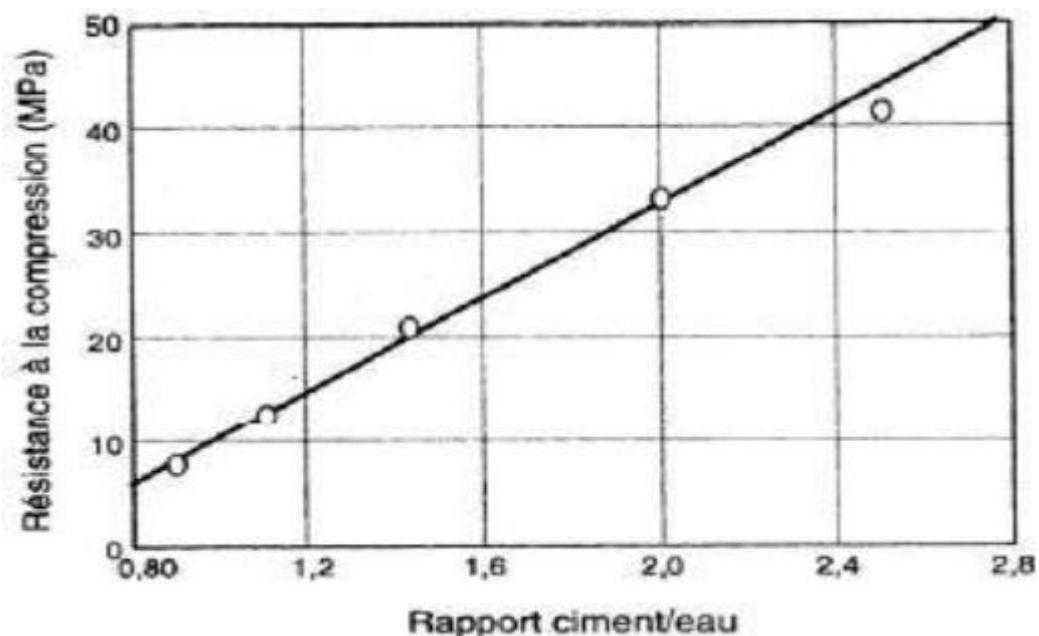


Figure 3.13 : Relation entre la résistance à la compression et le rapport C/E [49].

15. Influence du dosage en ciment :

Pour un dosage en eau constant, l'augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C du béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance à court terme [45].

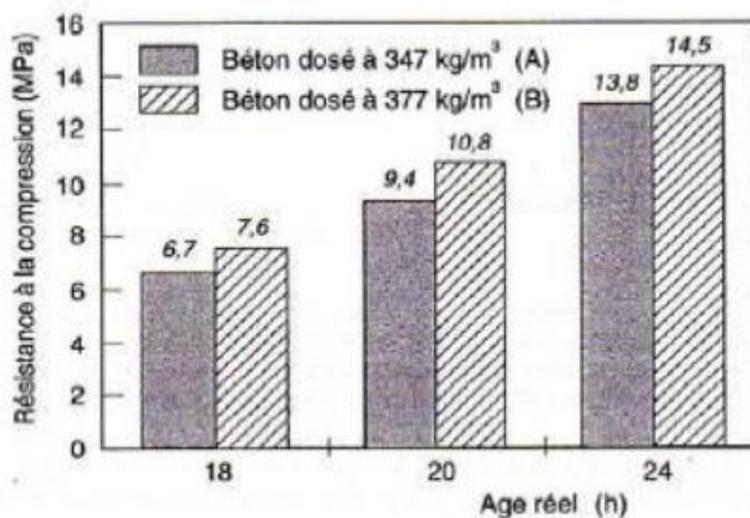


Figure 3.14 : Influence du dosage en ciment sur la résistance à la compression au jeune âge du béton [44].

16. Influence du type de ciment :

La démarche de formulation d'un béton passe par le choix du type de ciment. Plus la classe de résistance est élevée et plus la résistance à la compression est élevée, à toutes les échéances.

L'influence de ce paramètre sur la résistance à court terme est présentée sur la (figure 3.15).

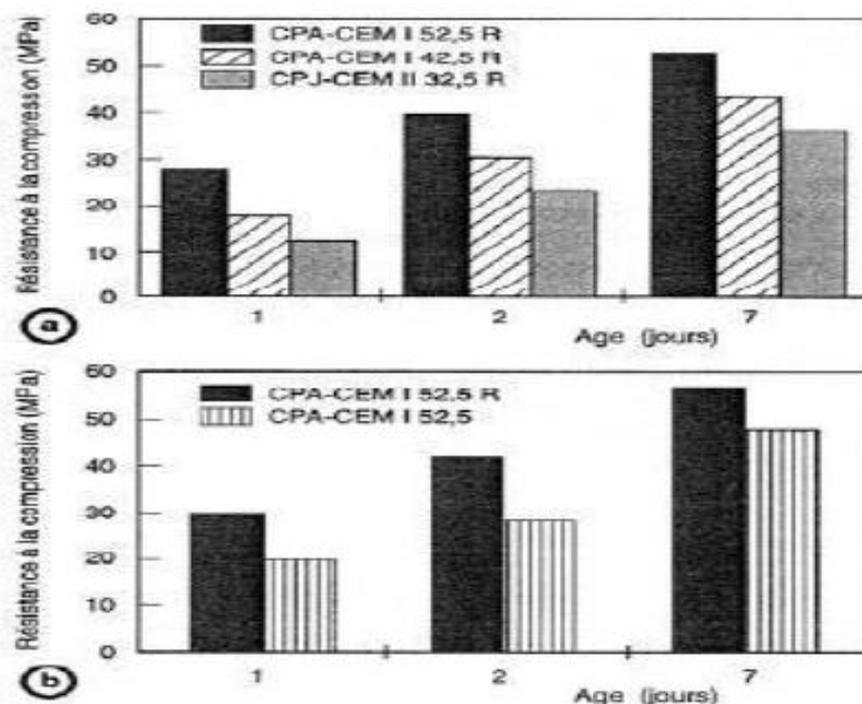


Figure 3.15 : Influence du type de ciment sur la résistance à la compression à court terme [44].

Cette figure montre que le choix d'un ciment CPA-CEM I 52,5 R développera à dosage identique dans le béton des résistances à court terme considérablement supérieures à celles d'un ciment CPJ-CEM II 32,5 R. De même, un CPA-CEM I 52,5 R développe des résistances à court terme beaucoup plus rapidement qu'un CPA-CEM I 52,5N tout en présentant à 28 jours des résistances équivalentes [44].

17. Influence du squelette granulaire :

Moins influente que le dosage en ciment ou le dosage en eau, la composition granulométrique du mélange n'intervient que d'une manière relativement faible sur la plupart des propriétés du béton. Sauf pour la résistance à la compression où nous pouvons voir (fig. 3.16) que pour des valeurs de (G/S) supérieures à « 2.2 » la résistance à la compression augmente considérablement, une augmentation

certainement positive mais prise sur le compte de l'ouvrabilité, parce qu'en pratique on ne dépasse pas les valeurs de 1.5 à 1.6 pour avoir un béton ouvrable [28].

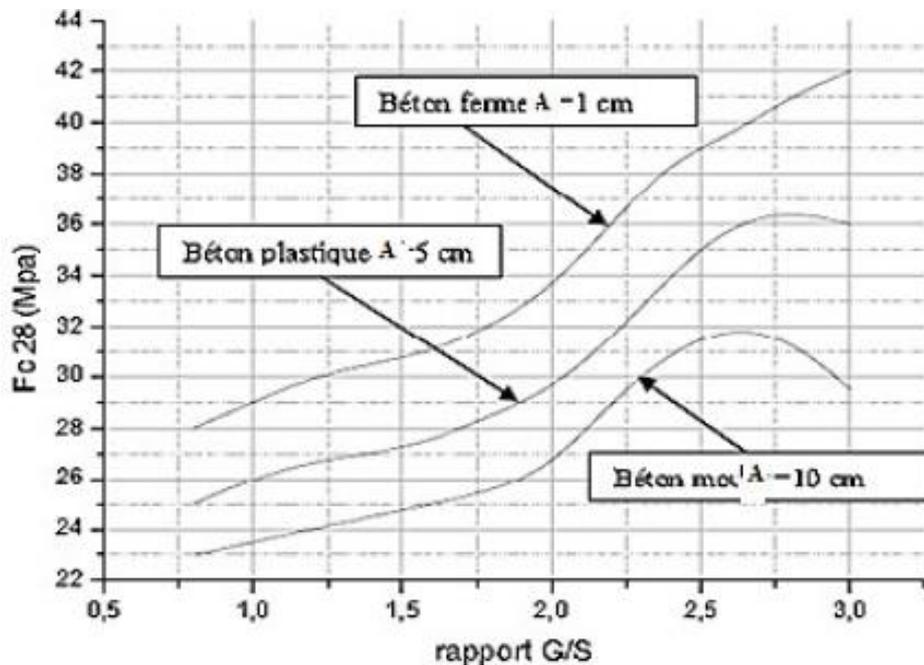


Figure 3.16 : Variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport G/S [36].

18. Dimension maximale des granulats D_{max} :

L'utilisation des granulats de dimension maximale contribue de façon très significative à l'augmentation de la résistance du béton. Mais cela reste dans les limites de la faisabilité, parce que le choix de D_{max} reste conditionné par le [BAEL 91] :

- L'ouvrabilité demandée
- Les dimensions de l'ouvrage et l'épaisseur des pièces
- L'espacement des armatures
- L'enrobage des armatures

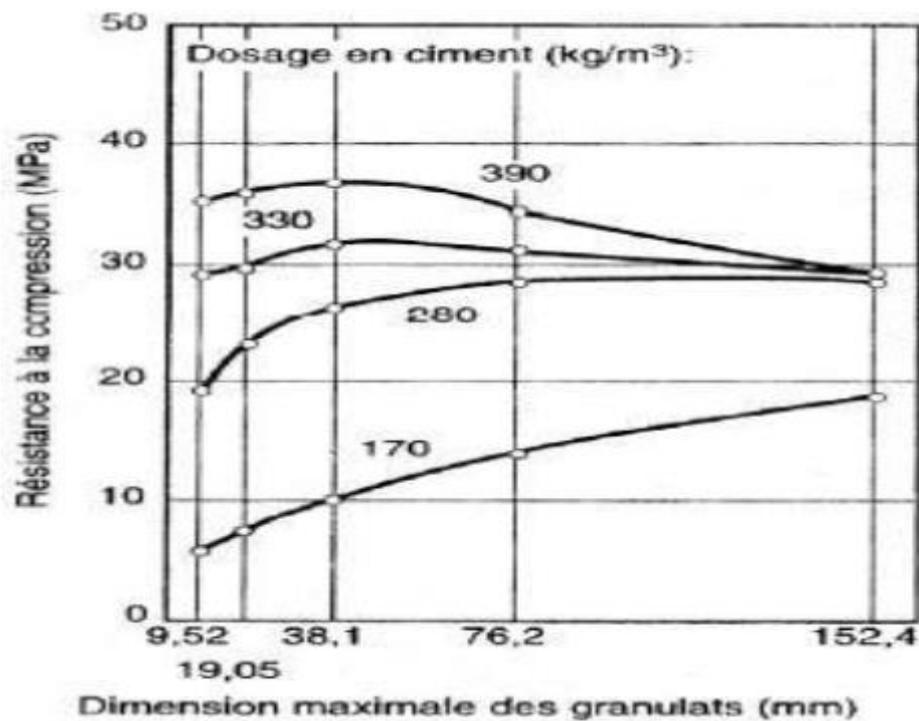


Figure 3.17 : Influence de la dimension maximale du granulat sur la résistance à la Compression à 28 jours pour des bétons ayant différents dosages en ciment [45].

19. Influence du squelette granulaire sur l'affaissement :

Une étude réalisée sur des bétons auto plaçant a fait ressortir que l'augmentation de la fraction volumique granulaire avait une influence négative sur les propriétés rhéologiques des bétons [45]. Cependant l'optimisation du squelette granulaire et par conséquent le paramètre G/S est essentielle pour améliorer la fluidité du mélange [48].

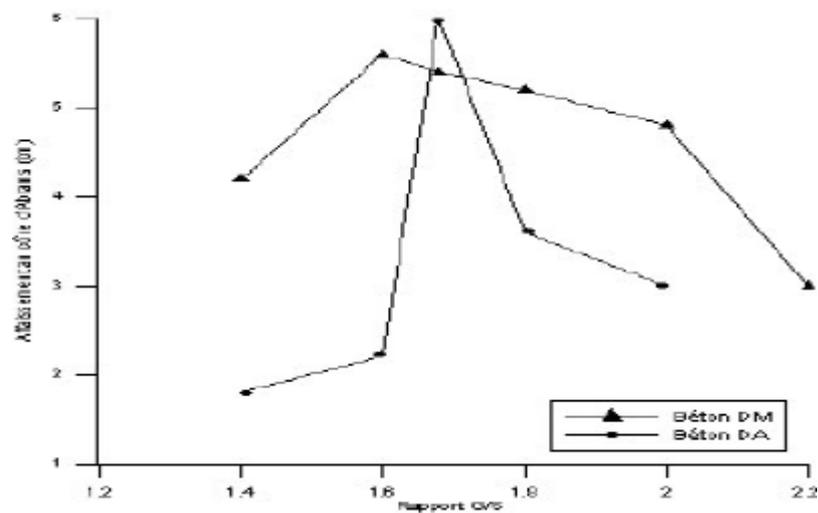


Figure 3.18 : Optimisation du rapport G/S en fonction de l'affaissement [48].

20. Méthodes de formulation des Bétons :

L'étude de la position d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance).

20.1 Méthode de Bolomey :

Par une formule appropriée, on trace une courbe granulométrique de référence et d'où s'efforce de réaliser avec des granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris), dont la courbe soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique [36]. La formule de base est la suivante :

$$P = A + (100 - A) \sqrt{d/D}$$

Où :

P : Le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre **d**.

d : Le diamètre du plus petit granulat.

D : Le diamètre du plus gros granulat.

A : varie de 8 à 16. Sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit théoriquement tout au moins à une granularité continue.

20.2 Méthode de Faury :

En 1942 Faury [36], proposa une nouvelle loi de granulation du type continu.

Il s'inspirait pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $5\sqrt{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ($<D/2$), des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse $5\sqrt{d}$.

L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ et son ordonnée Y est donnée par la formule suivante :

$$Y = A \cdot 17 \cdot 5\sqrt{D} + \frac{B}{\frac{R - 0.75}{D}}$$

A : constante, traduisant la maniabilité du béton ;

B : Varie de 1 à 2 selon que le béton ferme au no ;

D : Exprimé en dimension de passoire ;

R : Le rayon moyen du moule.

20.3 Méthode de Valette :

Valette [28] a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite certains nombres de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum des sables » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment. On ajoute ensuite, le maximum de gravier mouillé compatible avec une

ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment.

20.4 Méthode de Dreux-Gorisse :

Cette méthode est de nature fondamentalement empirique. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants. Sur la base d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulaire de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme semi-logarithmique [50]. D'utilité puisque elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés.

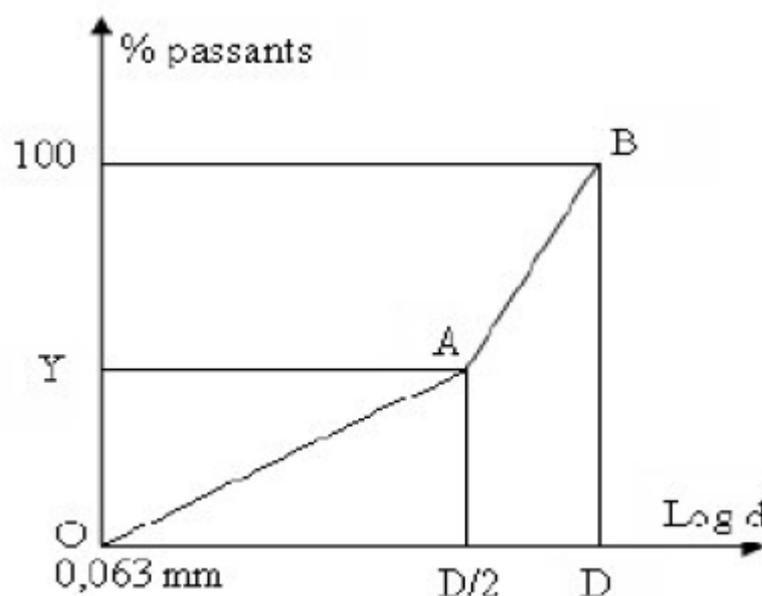


Figure 3.19 : Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse [36].

Sur un graphe d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), on trace une composition granulaire de référence OAB. Le point B (à l'ordonnée 100%) correspond à la dimension D des plus gros granulats, c'est-à-dire :

- Point B ($X = D$ max et $Y = 100$ %)
- Point O ($X = 0.063$ et $Y = 0$)

Le point de brisure A aux coordonnées suivantes :

- En abscisses (à partir de la dimension D du tamis)

Si : $D \leq 20$ mm ; l'abscisse est $D/2$.

Si : $D \geq 20$ mm l'abscisse est située au milieu du « segment gravier » limité par le module 38

(5 mm) et le module correspondant à D .

- En ordonnées : $y = 50 - \sqrt{K}$

Où

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage de la forme des granulats roulés ou concassés et également du module de finesse du sable.

Une correction supplémentaire sur K peut être effectuée (cas de sable grossier) en la valeur

$K_s = 6$, $M_f - 15$ ou M_f étant le module de finesse du sable qui varie de 2 à 3 [36].

Conclusion :

Dans ce modeste travail, nous avons pu évaluer en premier lieu l'influence de la quantité d'eau de gâchage exprimé par le rapport E/C sur la masse volumique à l'état frais et durci du béton, sur la porosité et sur la résistance à la compression d'un béton confectionné à base de matériaux locaux. En second lieu, nous avons réalisé des essais dans le but de comprendre et déterminer l'influence du mode de conservation à l'air libre sur les caractéristiques du béton ainsi que les qualités apportées par l'incorporation d'un adjuvant réducteur d'eau. Les paramètres pris en compte sont :

- Rapport E/C
- Essai Micro-Deval
- Essai Los Angeles
- Essai de résistance à la compression
- Essai de résistance à la flexion
- Essai d'affaissement au cône d'Abrams

Après cette étude expérimentale, nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

- L'influence du rapport E/C apparait clairement sur les résultats obtenus : la résistance à la compression du béton augmente en réduisant la quantité d'eau de gâchage et cela pour les deux cas du mode de conservation du béton.
- La masse volumique diminue avec l'augmentation du rapport E/C quel que soit le mode de conservation.
- La porosité du béton est en relation directe avec la quantité d'eau de gâchage surtout pour les bétons conservés à l'air libre où l'évaporation d'eau est plus importante ce qui influe sur la réaction d'hydratation provoquant des pores et une chute de résistance.

CHAPITRE IV : ETUDE EXPERIMENTALE POUR LA FORMULATION DE BETON

1. Introduction :

Dans notre programme expérimental L'étude a été réalisée sur des sables des mines issues de la région de djebel-Onk (gisement Kef-esnnoun $34^{\circ}42'22.21''N$ $8^{\circ}01'38.93''E$) on a effectué deux groupes d'essai, le premier groupe concerne les essais de caractérisation, nécessaires à l'identification géotechnique (physique) du sables testé et le deuxième relatif aux essais de la résistance



Figure 4.1 : photo montrant la zone de prélèvement (gisement de Kef-Esnnoun –Google Earth)

2. La méthode de Dreux- Gorisse :

Cette méthode est de nature fondamentalement empirique. Dreux a mené une large enquête pour recueillir des données sur des bétons satisfaisants. Sur la base d'une analyse statistique de ce grand nombre de bétons et en combinant les courbes granulaires obtenues, ils ont pu fonder une approche empirique pour déterminer une courbe granulair de référence ayant la forme de deux lignes droites dans un diagramme semi-logarithmique [52]. Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisqu'elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés, la méthode de Dreux-Gorisse pour un but :

Lorsqu'on mélange du ciment, des granulats et de l'eau, on obtient du béton. Mais on peut obtenir une infinité de bétons, en faisant varier les proportions des constituants et il est certain que, parmi ces bétons, tant par leur nature propre qu'en raison du travail à exécuter, certains seront franchement mauvais, d'autres seront acceptables, d'autres enfin seront bons (les moins nombreux). [53]

3. Principe de la méthode :

Nous disposons en général des informations suivantes :

La connaissance de la nature de l'ouvrage est nécessaire : ouvrage massif ou au contraire élancé et de faible épaisseur, faiblement ou très ferraillé,

La connaissance d'une résistance nominale (s_n) en compression à 28 jours et en admettant un coefficient de variation, la résistance moyenne serait : $s_{28} \gg s_n + 15\% \cdot s_n$

La consistance désirée est fonction de la nature de l'ouvrage, de la difficulté du bétonnage, des moyens de serrage, etc...

La plasticité désirée mesurée par l'affaissement au cône d'Abraham. [73]

4. Caractérisation et formulation :

Nous allons présenter dans cette partie, les caractéristiques essentielles des différents constituants du béton. Ainsi que les compositions des différents bétons étudiés dans le cadre de cette étude.

5. Caractéristiques de matières premières utilisant :

5.1 Ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CPJ CEM II/A 42.5 R selon la norme française [NF P 15-301].

• Caractéristiques chimique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R

L'analyse chimique des ciments déterminé selon la norme française [NF EN 196-2].

Le tableau (II.1), résumées Les compositions chimiques du ciment utilisé.

Tableau 4.1: Composition chimique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.

Composition Chimique	Teneur (%)
Si O ₂	17,50
Al ₂ O ₃	5,17
Fe ₂ O ₃	2,92
Ca O	60,21
Mg O	1,87
K ₂ O	0,57
Na ₂ O	0,18
SO ₃	2,59
Ca O libre	1,434
Cl-	0,020
Ins .	0,70
P.F	8,630

L'analyse chimique de ciment montre que la prédominance d'oxyde de calcium 60.21 % présence de la silice de l'ordre 17,50 %, et d'autres constituants à faible pourcentage peut être classée avec les impuretés, comme des oxydes (d'aluminium, fer, magnésium,) Dans la perte au feu est faible

• Caractéristiques minéralogique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R

Les caractéristiques minéralogiques du ciment utilisé sont résumées dans le tableau (4.2).

Tableau 4.2 : Composition minéralogique de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapporté au clinker (%)
Clinker	C3S	56
	C2S	20
	C3A	06
	C4AF	12
	CaO1	01
Régulateur de prise	Gypse	05

• Caractéristiques physiques du ciment CPJ CEM II/A 42.5R

L'analyse physique des ciments déterminé selon la norme français [NF EN 196-3]. Le tableau (4.3), résumées les caractéristiques physiques du ciment utilisé.

Tableau 4.3: Caractéristiques physiques de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.

		Résultats
Consistance normalisé (%)	H2O	27,3
Temps de prise (mn)	Début	165
Stabilité (mm)	Fine	230
	Froid	-
	Chaud	0,0
Essais de retrais (um/m)	03 Jours	344
	07 Jours	478
	28 Jours	784
Essais de gonflement (um/m)	03 Jours	0
	07 Jours	0
	28 Jours	0
Masse volumique absolue (g/ cm 3)		3,03
Finesse suivant la méthode Blaine (cm/g3)		4242

La consistance obtenue est conforme à la norme [NF EN 196-3] où les valeurs sont généralement comprises entre 26% et 33%. de même, un temps de prise minimal de 60 minutes est prescrit par la norme [NF P 15-301] pour les ciments de classe 42,5.

Les masses volumiques absolue du ciment utilisé, sont incluses dans l'intervalle imposé par la norme Algérienne [NA 231], compris entre 2900 – 3150 kg/m³.

• Caractéristiques mécanique du ciment CPJ CEM II/A 42.5 R

La Détermination des résistances mécaniques des ciments selon la norme française [NF EN 196-1]. Les caractéristiques mécaniques du ciment utilisé sont résumées dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4: Caractéristiques mécaniques de ciment CPJ CEM II/A 42.5 R.

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3395,4
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm)
02	4,0	20,9
07	6,2	38,3
28	7,0	47,8

5.2 Granulats :

Les granulats est un ensemble de grains minéraux, de dimensions comprises entre 0 et 250mm destinés à la confection des mortiers, et bétons.

Nous avons réalisé au l'laboratoire es analyses suivantes :

- **Analyses sur les graviers**
 - ✓ Analyse granulométrique,
 - ✓ Masse volumique absolue,
 - ✓ Masse volumique apparente,
 - ✓ Essai Los Angeles,
 - ✓ Essai Micro-Deval.
- **Analyses sur les sables**

- ✓ Analyse granulométrique,
- ✓ Equivalent de sable (ESP),
- ✓ Masse volumique absolue,
- ✓ Module de finesse.

5.3. Gravier :

Dans notre travaille, ont utilisé trois types des gravies, résultant du concassage de roche d'une pétrographie calcaire massif, proviennent de la carrière de (EL MA-LABYOD) - Tebessa

- Gravier (3 / 8)
- Gravier (8 / 15)
- Gravier (15/25)



Figure 4.2: D'efférents types de graviers de carrière

a) Caractéristiques granulométriques des graviers :

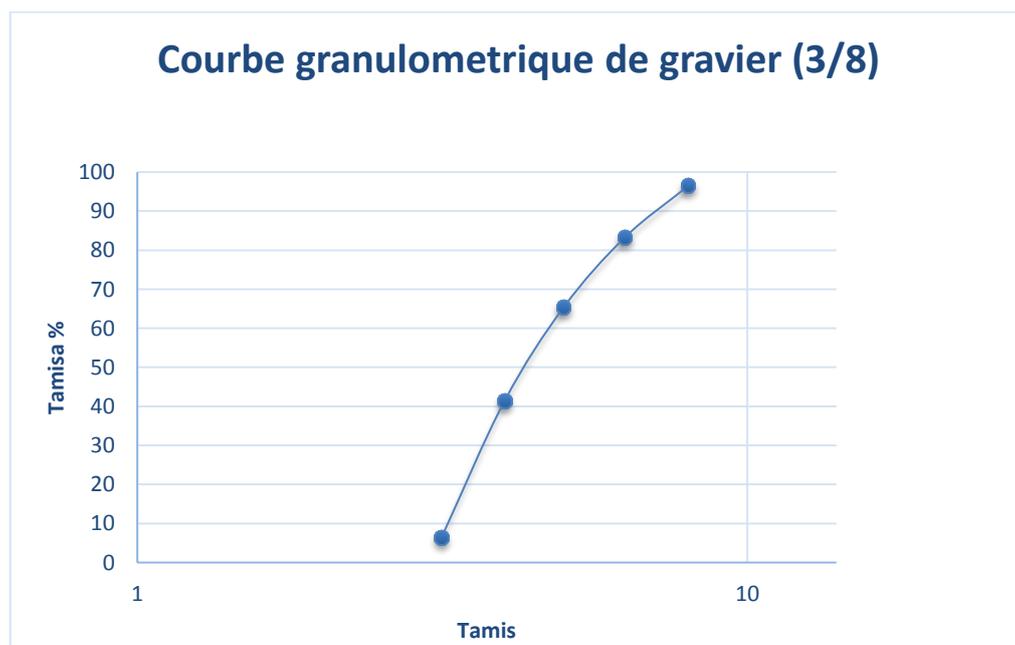
L'analyse granulométrique des granulats déterminé selon la norme français [NF EN 933-1]. Il est atteint par le tamisage d'un échantillon dans une série de tamis et de déterminer le Pourcentage de passants et du refus sur chaque tamis.

• Analyse granulométrique de graviers (3/8) :

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (3/8), représentés dans le tableau (4.5).

Tableau 4.5: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (3/8)

Tamis (mm)	Refus Partielle	Refus Cumules	Refus Cumules (%)	Tamis (%)
8	105	105	3,5	96,5
6,3	395	500	16,6	83,3
5	536	1036	34,5	65,4
4	722	1758	58,6	41,4
3,15	1051	2809	93,6	6,3
Fond	89	2898	96,6	3,4

**Figure 4.3:** Courbe d'analyse granulométrique de gravie (3/8)

- **Analyse granulométrique de graviers (8/15) :**

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravie (8/15), représentés dans le tableau 4.6

Tableau 4.6: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (8/15)

Tamis (mm)	Refus Partielle	Refus cumules	Refus cumules (%)	Tamis(%)
12,5	244	244	4,06	86,76667
10	473	717	7,883	64,7
8	841	1,558	14,016	14,16667
6,3	2105	3,663	35,083	0,66667
Fond	1603	5,983	26,716	0

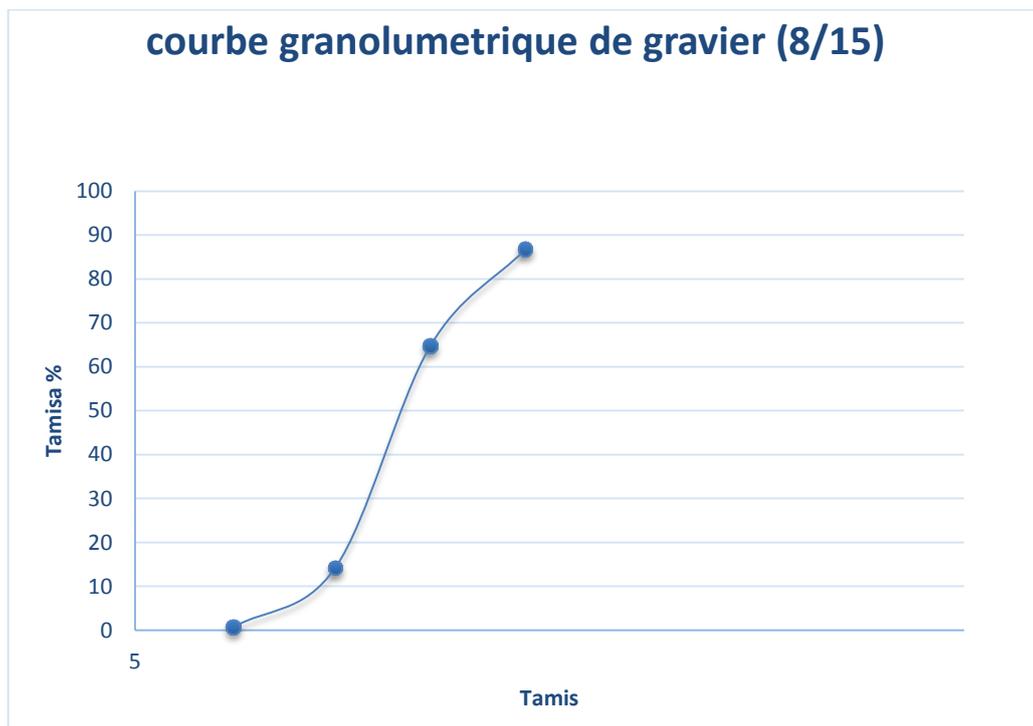


Figure 4.4: Courbe granulométrique de gravier (8/15)

• **Analyse granulométrique de Graviers (15/25) :**

Selon l'analyse faite au laboratoire, on a obtenu les résultats des passants cumulés de gravier (15/25), représentés dans le tableau (4.7).

Tableau 4.7: Résultat de l'analyse granulométrique de gravie (15/25).

Tamis (mm)	Refus partielle	Refus cumule	Refus cumule (%)	Tamis (%)
25	30	30	0,5	99,5
20	1021	1051	17,51	82,4
16	4563	5614	93,56	6,4
14	250	5864	97,73	2,2
Fond	140	6004	100,06	0,06

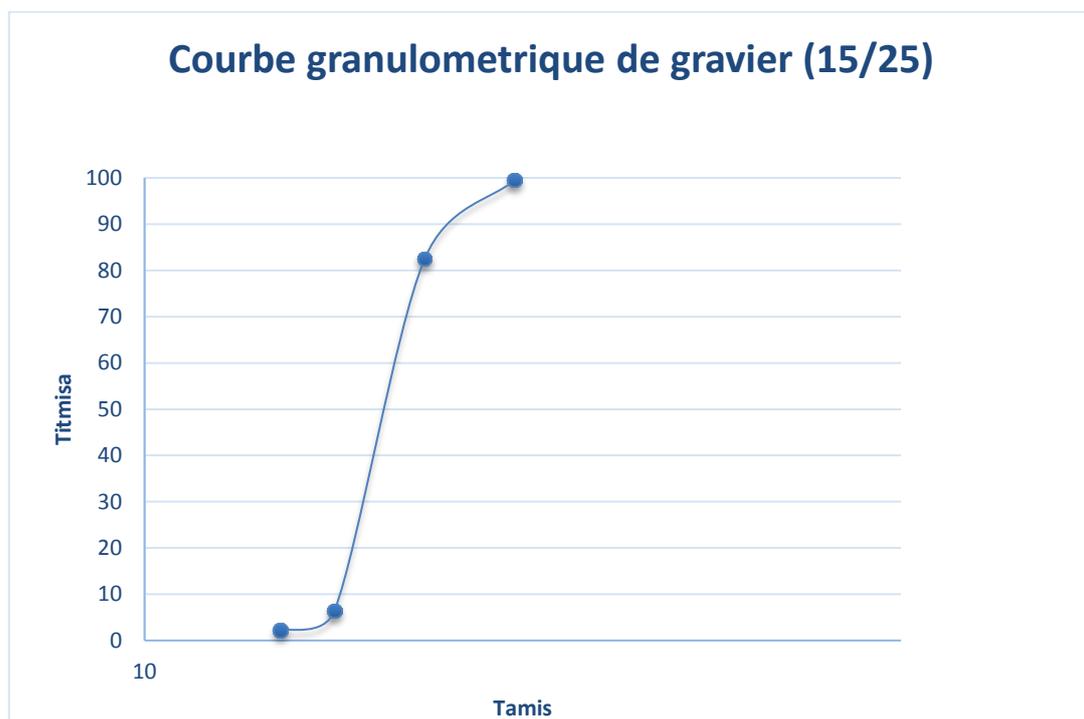


Figure 4.5 : Courbe granulométrique de gravier (15/25)

D'après les figures (4.3 ,4.4 et 4.5) les trois classes granulaires telles que 3/8 - 8/15 - 15/25, montre que les graviers sont à granulométrie continue

b) Caractéristiques physiques des graviers :

Les caractéristiques physiques des graviers, sont déterminées selon la norme européenne [EN 1097-6]. Les différents résultats obtenus lors des essais de principales caractéristiques physiques des graviers sont présentées dans le tableau (4.8).

Tableau 4.8: résultats des principales caractéristiques physiques des graviers.

Caractéristiques Physiques	Graviers		
	Gravier (3/8)	Graviers (8/15)	Graviers (15/25)
Masse volumique Absolue (g/cm ³)	2,66	2,66	2,66
Masse volumique Apparente (g/cm ³)	1,53	1,42	1,43

- Les résultats obtenus sur le tableau (2.9) montrent que :

Les graviers de la carrière présentent des masses volumiques (apparente et absolue) qui répondent aux spécifications de la norme européenne [EN 1097-6]. La masse volumique apparente est comprise entre 1,42g/m³ et 1,53 g/cm³ et la masse volumique absolue est nettement plus élevée et égale 2,66g/cm³.

c) Caractéristiques Mécaniques des graviers :

Les caractéristiques mécaniques des graviers, sont déterminées selon la norme européenne Française [EN 1097-1] et [XP P 18-573] et Les différents résultats obtenus lors des essais de caractérisation mécanique des graviers .sont présentées dans le tableau (4.9).

Tableau 4.9 : résultats des principales caractéristiques mécanique des graviers

Caractéristiques Mécaniques	Graviers		
	Gravier (3/8)	Graviers (8/15)	Graviers (15/25)
Los Angeles (%)	/	93,48	90,34
Micro Deval (%)	6,2	8,3	8,9

5.4 Sables :

Dans notre travaille, on a utilisé 3 types de sable :

- **Caractéristiques Granulométrique :**

L'analyse granulométrique des granulats déterminé selon la norme français [NF EN 933-1].d'après l'analyse faite au laboratoire

- **Sable blanc :**

Tableau 4.10: Résultat de l'analyse granulométrique de sable Blanc.

	Tamis	Refus partielle	Refus cumule	Refus cumule (%)	Tamisa (%)
2500g De sable blanc	5	4,98	4,98	0,19	99,80
	3,15	9,51	14,49	0,57	99,42
	2,5	5,7	20,19	0,80	99,19
	1,25	72,05	92,24	3,68	96,31
	0,63	550	642,24	25,68	74,31
	0,315	1282	1924,24	76,96	23,03
	0,2	290,92	2215,16	88,60	11,39
	0,125	204,64	2419,8	96,79	3,20
	0,08	29,39	2449,19	97,96	2,03
	Fond	36,03	2485,22	99,40	0,59

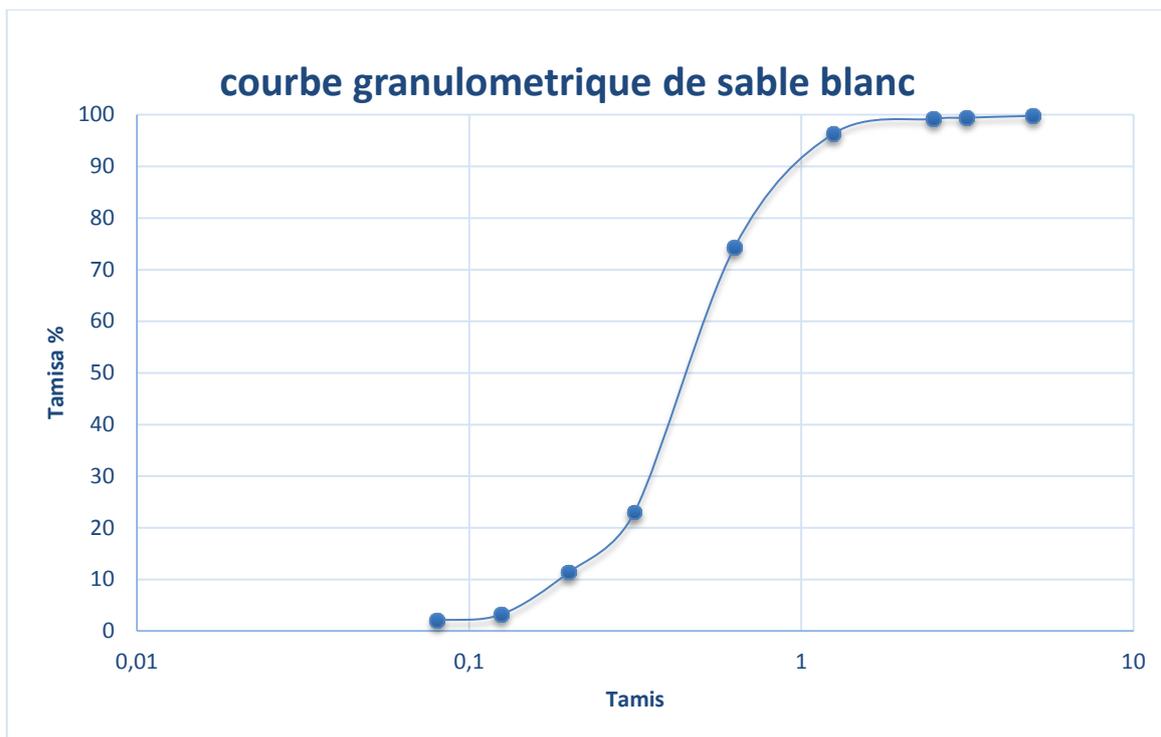


Figure 4.6: Courbe granulométrique de sable blanc

- **Sable jaune :**

Tableau 4.11: Résultat de l'analyse granulométrique de sable Jaune.

	Tamis (mm)	Refus partielle	Refus cumule	Refus cumule (%)	Tamis (%)
2500g De Sable Jaune	5	28,31	28,31	1,1324	98,8676
	3,15	23,73	52,04	2,0816	97,9184
	2,5	20,98	73,02	2,9208	97,0792
	1,25	106,23	179,25	7,17	92,83
	0,63	394,72	573,97	22,9588	77,0412
	0,315	1337	1910,97	76,4388	23,5612
	0,2	292	2202,97	88,1188	11,8812
	0,125	209	2411,97	96,4788	3,5212
	0,08	29	2440,97	97,6388	2,3612
	Fond	54	2494,97	99,7988	0,2012

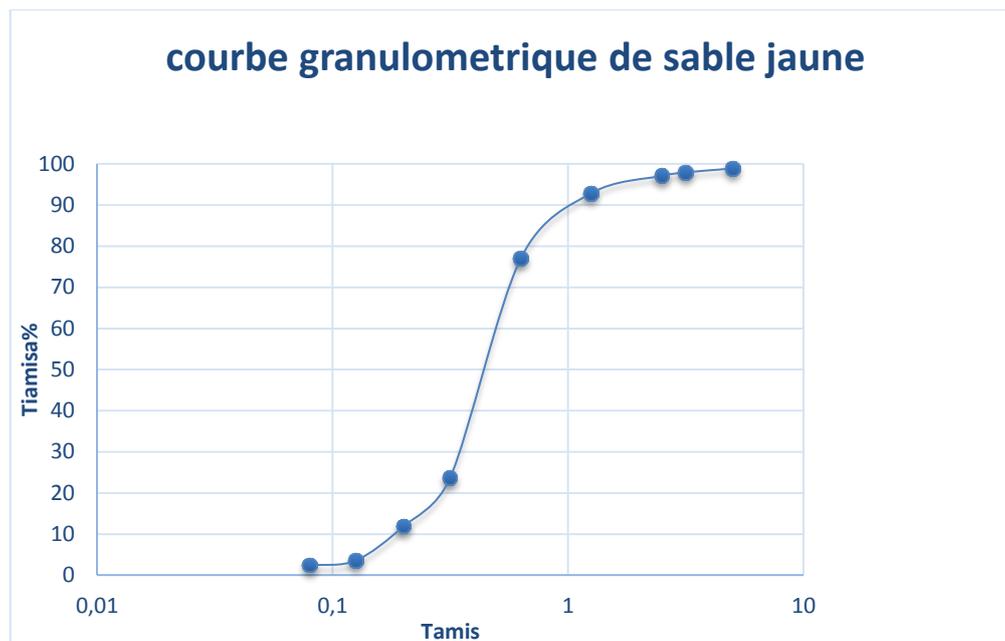


Figure 4.7: Courbe granulométrique de sable jaune

Interprétation des résultats :

Pour savoir quelle classification est notre sable, nous devons dépendre des caractéristiques dans (le tableau 2.5). Nous trouvons que le sable est un sable propre mal gradué

- **Sable Carrière :**

Tableau 4.12: Résultat de l'analyse granulométrique de sable carrière

	Ouverture de tamis (mm)	Refus partielle	Refus cumule	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
25000g de sable de carrière	3,15	143	143	4,76	95,23
	2,5	104	247	8,23	91,76
	0,63	1612	1859	61,96	38,03
	0,315	477	2336	77,86	22,13
	0,2	278	2614	87,13	12,86
	0,125	247	2861	95,36	4,63
	0,08	101	2962	98,73	1,26
	Fond	33	2995	99,83	0,16

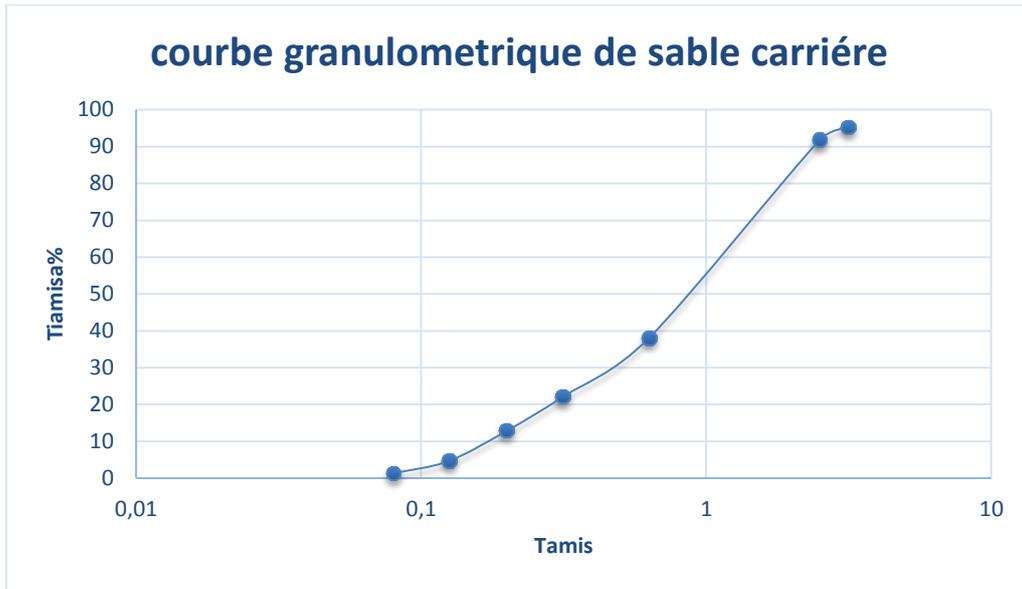


Figure 4.8: Courbe granulométrique de sable carrière.

D’après la forme de la courbe d’analyse granulométrique de sable carrière et figure 4.9 nous trouvons le sable est plutôt grossier .

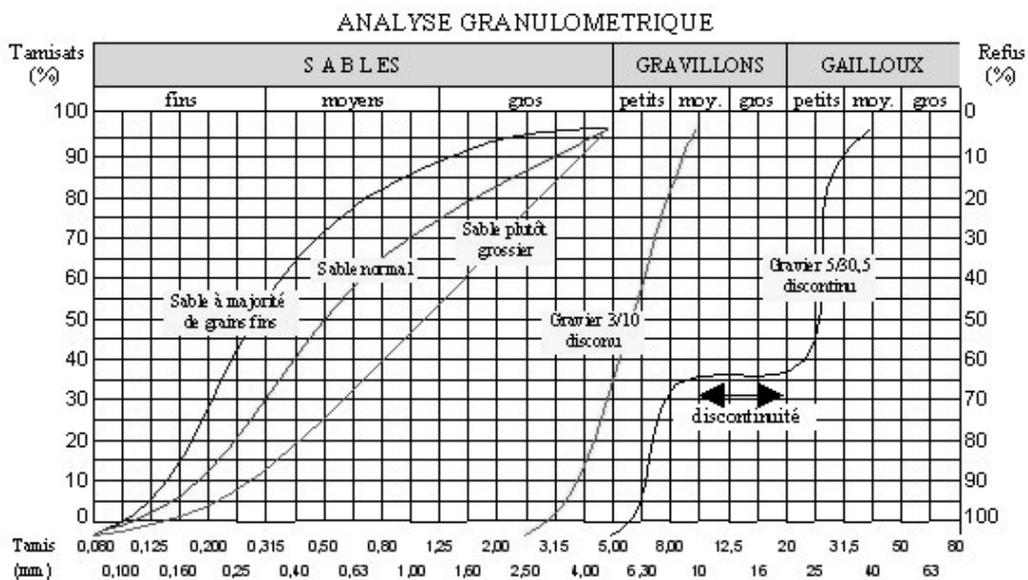


Figure 4.9: Interprétation des courbes granulométrique

• Caractéristiques physiques :

Les différents résultats obtenus lors des essais de principales caractéristiques physiques de sable sont présentées dans le tableau (4.13).

Tableau 4.13 : Résultats des principales caractéristiques physiques des sables des mines

Caractéristiques Physiques	Equivalent de sable (%)	Masse volumique absolue (g/cm ³)
Sable blanc	82%	1,559
Sable jaune	72%	1,551

6. Formulation de béton témoin(BT) :

Le béton témoin formules est un mélange ordinaire préparé à partir de trois type de sables (sable blanc , sable jaune et sable carrière) de carrier kef-Esnoun et trois classe séparées de graviers (3/8, 8/15 et 15/25) résultant du concassage de roche d'une pétrographie calcaire massif, de ciment portland composé et l'étude sur trois cas (plastique sur chaque type de sable, la méthode de composition utilisée est la méthode DREUX- GORISSE[23].

L'objectif de cette méthode, c'est de déterminer en fonction de la maniabilité et de la résistance définis par le cahier des charges, la nature et la quantité de matériaux nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

Les étapes de formulation basées sur la résistance visée et l'affaissement au cône d'ABRAMS.

• Critère de résistance

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ'_{28j} .

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15% à la résistance minimale en compression σ_{28j} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$\sigma'_{28 j} = 1.15\sigma_{28j}$$

La résistance désirée pour le béton témoin à 28 jours est:

$$\sigma_{28j} = 25 \text{MPa}$$

La résistance moyenne visée pour le béton témoin à 28 jours :

$$\sigma'_{28j} = 25 * 1.15$$

$$\sigma'_{28j} = 28.75 \text{MPa}$$

6.1. Calcule dosage en ciment :

-Dimension maximale des granulats **D = 16 mm**

-Granulats (graviers concassés et sable roulé) de trois classes :

- Sable blanc
- Sable jaune
- Sable carrière
- Gravier 3/8
- Gravier 8/15
- Gravier 15/25
- résistance visée à 28 jours .
- classe vraie de ciment en (MPa) .

G : coefficient granulaire ;

C : dosage en ciment (kg/m^3) ;

E : dosage en eau (kg/m^3)

Tableau 4.14 : valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Qualité des granulats	Dimension (D) des granulats		
	($D \leq 16 \text{ mm}$)	($20 \leq D \leq 40 \text{ mm}$)	($D \geq 63 \text{ mm}$)
Excellente	0,55	0,6	0,65
Bonne, courante	0,45	0,5	0,55
Passable	0,35	0,4	0,45

Tableau 4.15 : Caractéristiques de formulation du béton

Coefficient granulaire	G=0.5
Le rapport (C/E)	185L
Plasticité	béton plastique
Affaissement A	3 à 5 cm
Serrage	Puissante
K	0
Nombre de chocs	15 à 25
Vibration	Puissante vibration
Forme de granulats	concassé et roulée
Dosage en ciment	350 kg/m^3

• Coefficient de compacité :

-Consistance : Plastique

-Serrage : puissante

-D = 20

-Coefficient de compacité : $\gamma = 0,830$

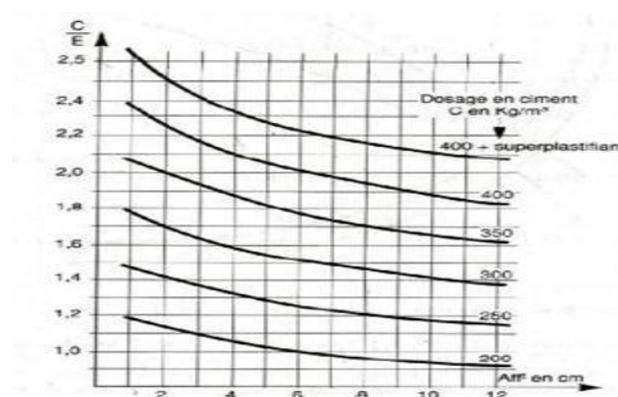


Figure 4.10 : Abaque permettant la détermination du dosage en ciment

-Tracé de la courbe granulaire de référence :

Cette courbe correspondant au mélange des granulats (sable et gravier). Sur le même graphe d'analyse granulométrique (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis), on trace un courbe granulaire de référence OAB avec :

- Point B à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D des plus gros granulats.
- $X = D = 20$
- $Y = 100\%$
- Point de brisure A à pour coordonnées

$$\text{En l'abscisse : } D \leq 25 \quad X = \frac{D}{2}$$

$$\text{En ordonnée : } Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s$$

- ❖ Dosage de ciment $C = 350 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow K = 2$ (voire l'annexe), pour les granulats concassée.
- ❖ Pour le dosage en ciment de 350 kg/m^3 , et avec un granulat concassé et une vibration puissante et le module de finesse :

$$M_f = 3.2 \text{ est :}$$

$$K_s = 6 M_f - 15 \quad K_p = K + (5 \text{ à } 10)$$

$$K_s = 6 (3.2) - 15 \quad K_p = 0$$

$$K_s = 3.12$$

Cas 01 : Formulation de béton ferme par le sable blanc Formulation I :

$$\text{Point A } \left\{ \begin{array}{l} X = 12.5 \\ Y = 100 \% \end{array} \right.$$

$$\text{Point B } \left\{ \begin{array}{l} X = 25 \\ Y = 48 \end{array} \right.$$

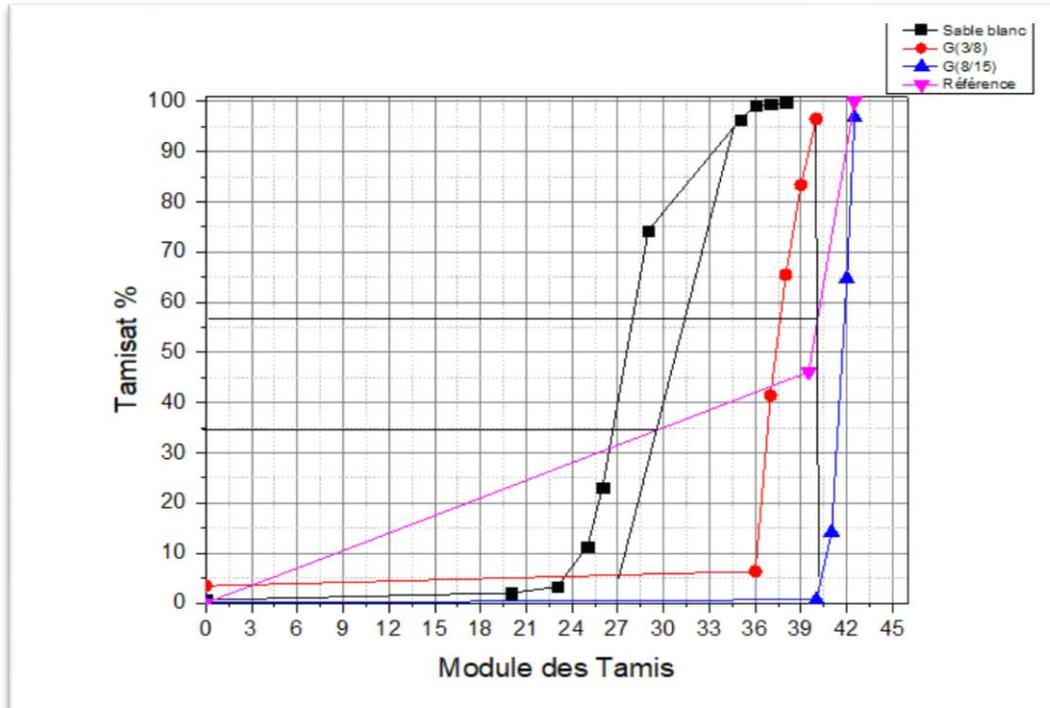


Figure 4.11 : La courbe granulométrique de référence sable blanc F (I)

6.2. Dosage des granulats :

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Figure 4.21) que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : **Sable blanc, G3/8, G8/15.**

- **Sable blanc : 35 %**
- **Gravier (3/8) : 21%**
- **Gravier (8/15) : 44 %**

On constate que le dosage des graviers est plus important par rapport au dosage de sable (G/S), on a procédé à la correction des dosages des granulats ($G/S = 1.79$).

- **Coefficient de compacité γ**
- **D = 20**

- Béton ferme donc $\gamma = 0.830$ (voire l'annexe N°2),
- Puissante vibration
- **Détermination de volume totale du ciment :**

$$V_C = \frac{C}{p}; \quad V_C = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

$$V_E = 1000\gamma - V_c$$

$$V_E = 1000(0.830) - 112,9 = 717,1 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

- ✓ Volume absolu du sable de carrière = $717,1 * 0,35 = 250,98\text{L}$

- ✓ Volume absolu de gravier (3/8) = $717,1 * 0,21 = 150,59\text{L}$

- ✓ Volume absolu de gravier (8/15) = $717,1 * 0,44 = 315,52\text{L}$

6.3. Dosage pondéral des granulats (pour 1 m³ de béton):

- **Sable blanc :**

$$S = v_1 * \gamma_s$$

$$\text{Sable blanc : } 250,98 * 2,803 = 703,49 \text{ Kg/ m}^3$$

- **G (3/8) :**

$$G = v_2 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (3/8) : } 150,59 * 2,66 = 400,56 \text{ Kg/ m}^3$$

- **G (8/15) :**

$$G = v_3 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (8/15) : } 315,52 * 2,66 = 839,28 \text{ Kg/ m}^3$$

Masse pour 0.0252 m :

- Ciment : $350 * 0.0252 = 8.82 \text{ kg}$

- Eau : $175 \times 0,0252 = 4,41 \text{ L}$
- Adjuvant super plastifiant masse (ciment) = **80.5ml**
- Sable blanc : $703,49 \times 0,0252 = 17,73 \text{ Kg}$
- G (3/8) : $400,56 \times 0,0252 = 10,09 \text{ Kg}$
- G (8/15) : $839,28 \times 0,0252 = 21,14 \text{ Kg}$

Cas 01 : Formulation de béton ferme par le sable carrière formulation I :

$$\text{Point A} \begin{cases} X = 12.5 \\ Y = 48 \end{cases} \qquad \text{Point B} \begin{cases} X = 25 \\ Y = 100 \end{cases}$$

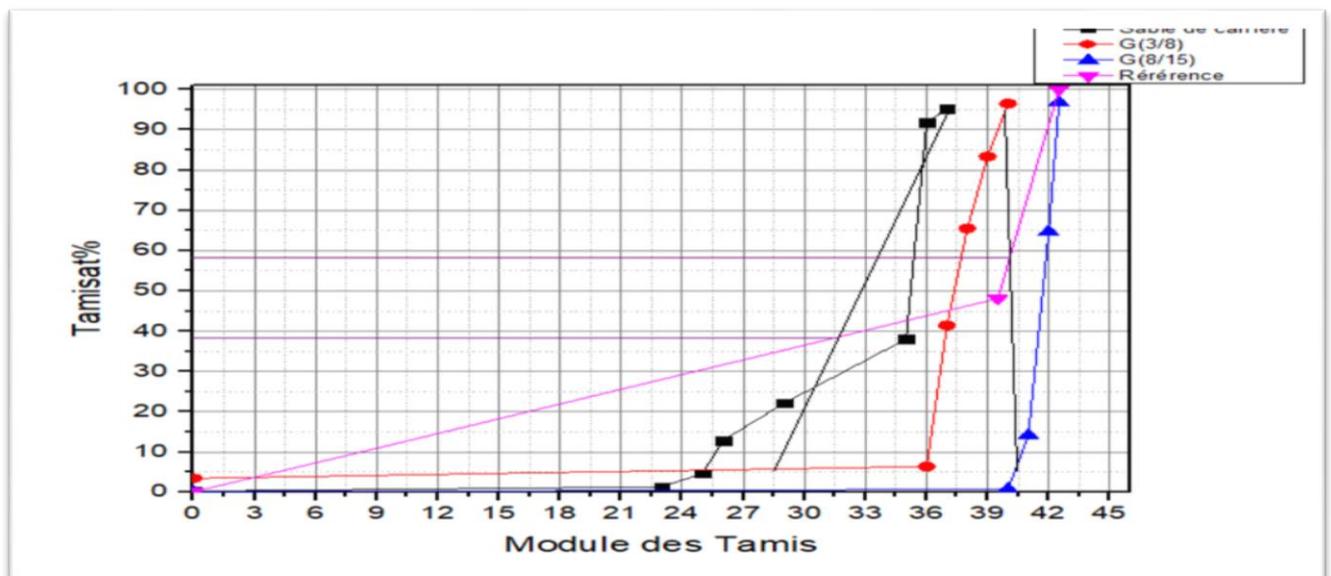


Figure 4.12 : La courbe granulométrique de référence sable carrière F I

▪ **Dosage des granulats :**

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Figure 4.22) que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : Sable carrière, G3/8, G8/15.

- **Sable carrière : 38 %**

- Gravier (3/8) : 21%
- Gravier (8/15) : 41 %

On constate que le dosage des graviers est plus important par rapport au dosage de sable (G/S), on a procédé à la correction des dosages des granulats (G/S =1.79).

- Coefficient de compacité γ
- D =20
- Béton ferme donc $\gamma =0.830$ (voire l'annexe),
- Puissante vibration
- Détermination de volume totale du ciment :

$$V_C = \frac{C}{p}; \quad V_C = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- Détermination du volume absolu de chaque granulat :

$$V_E = 1000\gamma - V_c$$

$$V_E = 1000 (0.830) - 112,9 = 717,1 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- Détermination du volume absolu de chaque granulat :

$$✓ \text{ Volume absolu du sable de carrière} = 717,1 * 0,38 = 272,49L$$

$$✓ \text{ Volume absolu de gravier (3/8)} = 717,1 * 0,21 = 150,59L$$

$$✓ \text{ Volume absolu de gravier (8/15)} = 717,1 * 0,41 = 294,01L$$

- Dosage pondéral des granulats (pour 1 m3 de béton):

- Sable carrière :

$$S = v_1 * \gamma_s$$

$$\text{Sable carrière : } 272,49 * 2,803 = 710,65 \text{ Kg/ m}^3$$

- Gravier (3/8) :

$$G = v_2 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (3/8)} : 150,59 * 2,66 = 400,56 \text{ Kg/ m}^3$$

➤ Gravier (8/15) :

$$G = v_3 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (8/15)} : 294,01 * 2,66 = 782,06 \text{ Kg / m}^3$$

• Masse pour 0.0252 m :

➤ Ciment : $350 * 0.0252 = 8.82 \text{ kg}$

➤ Eau : $175 * 0.0252 = 4.41 \text{ L}$

➤ Adjuvant super plastifiant masse (ciment) = **80.5ml**

➤ Sable carrière : $710,65 * 0,0252 = 17,90 \text{ Kg}$

➤ G (3/8) : $400,56 * 0,0252 = 10,09 \text{ Kg}$

➤ G (8/15) : $782,06 * 0,0252 = 19,70 \text{ Kg}$

Cas 01 : Formulation de béton ferme par le sable jaune formulation II :

$$\text{Point A} \begin{cases} X = 12.5 \\ Y = 100 \% \end{cases}$$

$$\text{Point B} \begin{cases} X = 25 \\ Y = 52 \end{cases}$$

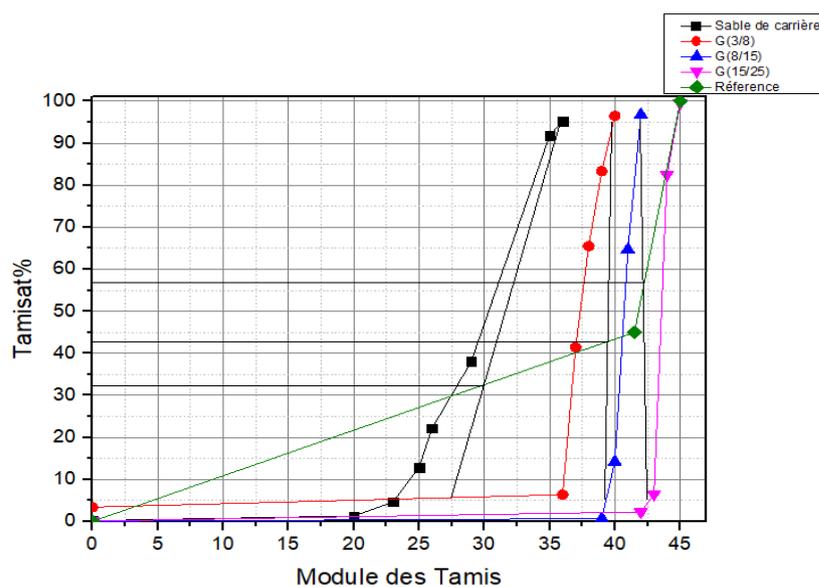


Figure 4.13 : La courbe granulométrique de référence sable jaune F II

- **Dosage des granulats :**

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Figure 4.23) que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : Sable jaune, G3/8, G8/15, G15/25.

- **Sable jaune : 33 %**
- **Gravier (3/8) : 10 %**
- **Gravier (8/15) : 12 %**
- **Gravier (15/25) : 45 %**

On constate que le dosage des graviers est plus important par rapport au dosage de sable (G/S), on a procédé à la correction des dosages des granulats ($G/S = 1.79$).

- **Coefficient de compacité γ**

- $D = 20$
- Béton ferme donc $\gamma = 0.830$ (voire l'annexe N°2),
- Puissante vibration

- **Détermination de volume totale du ciment :**

$$V_C = \frac{C}{p}; \quad V_C = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulats :**

- ✓ Volume absolu du sable de jaune = $717,1 * 0,33 = 236,64\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (3/8) = $717,1 * 0,10 = 71,71\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (8/15) = $717,1 * 0,12 = 86,05\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (15/25) = $717,1 * 0,45 = 322,69\text{L}$

➤ Dosage pondéral des granulats (pour 1 m³ de béton):

➤ Sable jaune :

$$S = v_1 * \gamma_s$$

$$\text{Sable jaune : } 236,64 * 2,541 = 601,30 \text{ kg / m}^3$$

➤ Gravier (3/8) :

$$G = v_2 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (3/8) : } 71,71 * 2,66 = 190,74 \text{ kg / m}^3$$

➤ Gravier (8/15) :

$$G = v_3 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (8/15) : } 86,05 * 2,66 = 228,89 \text{ kg / m}^3$$

➤ Gravier (15/25) :

$$G = v_4 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (15/25) : } 322,69 * 2,66 = 858,35 \text{ kg / m}^3$$

Masse pour 0.0252 m :

➤ Ciment : $350 * 0,0252 = 8,82 \text{ kg}$

➤ Eau : $175 * 0,0252 = 4,41 \text{ L}$

➤ Adjuvant super plastifiant masse (ciment) = **80.5ml**

➤ Sable jaune : $601,30 * 0,0252 = 15,15 \text{ Kg}$

➤ G (3/8) $190,74 * 0,0252 = 4,80 \text{ Kg}$

➤ G (8/15) : $228,89 * 0,0252 = 5,76 \text{ Kg}$

➤ G (15/25) : $858,35 * 0,0252 = 21,63 \text{ Kg}$

Remarque

-Les trois formulations restantes sont dans l'annexe

7. Essais non destructif par Auscultation sonique (Ultra Son) : [NF P 18- 418]

Il s'agit d'évaluer la résistance du béton à partir de la vitesse de propagation d'ondes (voir le tableau 4.14). Mesure du temps de propagation de la première impulsion d'un train d'ondes appelées ondes longitudinales, généré par un transducteur, entre deux points déterminés du béton. Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et consiste à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions [51]. Consiste à presser les deux têtes sur les faces des l'éprouvettes, donc la surface du béton est bien nettoyée (voir la figure 4.10). En utilisant une pâte de contact qui facilite la transmission du son. La vitesse de propagation est donnée par l'équation suivante :

$$V = \frac{l}{t}$$

Où :

V : la vitesse de propagation en (m/s) ;

l : est la distance entre les transducteurs en (m) ;

t : est le temps de propagation en (seconde)

Cette dernière permet le calcul du module d'élasticité E par l'équation suivante :

$$E = \frac{V^2 \rho (1+\nu)(1-2\nu)}{g(1-\nu)} \quad \text{Avec} \quad \nu = \frac{l}{t}$$

E : Module d'élasticité [MPa].

V : La vitesse de propagation [m/s].

ρ : La densité du solide [kg/m³].

g : Accélération de la pesanteur (9,81 m/s²).

ν : Coefficient de Poisson.

d = La distance séparant les transducteurs émetteur et récepteur [m].

t : Le temps de propagation de l'onde [s].



Figure 4.14 : l'appareil Ultra Son (TICO).

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ

Tableau 4.16 : Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation [66].

Vitesse de propagation (m/s)	La qualité du béton par la résistance
$2500 < V < 3200$	Béton de faible résistance
$3200 < V < 3700$	Béton de moyenne résistance
$3700 < V < 4200$	Béton à haute résistance
$V < 4200$	Béton à très haute résistance

7.1. Expression des résultats :

Remarque :

-Formulation I contient : Gravier 3/8 , Gravier 8/15 , sable 0.3 ,Ciment ,Eau, adjuvant

-Formulation II contient : Gravier 3/8 , Gravier 8/15 ,Gravier 15/25, sable 0.3 ,Ciment ,Eau, adjuvant

Les résultats sont présentés dans les tableaux ce dessus

Tableau 4.17 : Résultats d'essai ultrasonique pour formulation (I,II) sable blanc

type de sable	Echantillons	module d'élasticité E (MPa)	Écrasement	temps (μ s)	Vitesse (m/s)
sable blanc	Formulation (I)	34423,53	7jour	26,4	3788,75
		36031,56	14jour	25,6	3908,65
		40034,03	28jour	23,9	4183,76
	formulation (II)	42603,96	7jour	23,1	4399
		49478,71	14jour	21,5	4651,16
		50553,74	28jour	21,3	4694,83

Tableau 4.18: Résultats d'essai ultrasonique pour formulation (I,II) sable jaune

type de sable	échantillons	module d'élasticité E (MPa)	Écrasement (jour)	temps (μ s)	Vitesse (m/s)
sable jaune	formulation (I)	29742,52	7jour	25,1	3981,58
		37500,46	14jour	24,6	4064,73
		38580,17	28jour	24,3	4117,84
	formulation (II)	44806,49	7jour	22,6	4431,45
		45496,11	14jour	22,4	4466,32
		47801,68	28jour	22,1	4513,2

Tableau4.19: Résultats d'essai ultrasonique pour formulation (I,II) sable carrière

type de sable	échantillons	module d'élasticité E (MPa)	Écrasement (jour)	temps (μ s)	Vitesse (m/s)
sable carrière	Formulation (I)	40122,25	7jour	23,8	4206,12
		40397,32	14jour	23,7	4219,66
		41530,44	28jour	23,4	4278,43
	formulation (II)	45219,16	7jour	22,5	4440,22
		48165,2	14jour	21,9	4572,53
		48838,37	28jour	21,8	4593,41

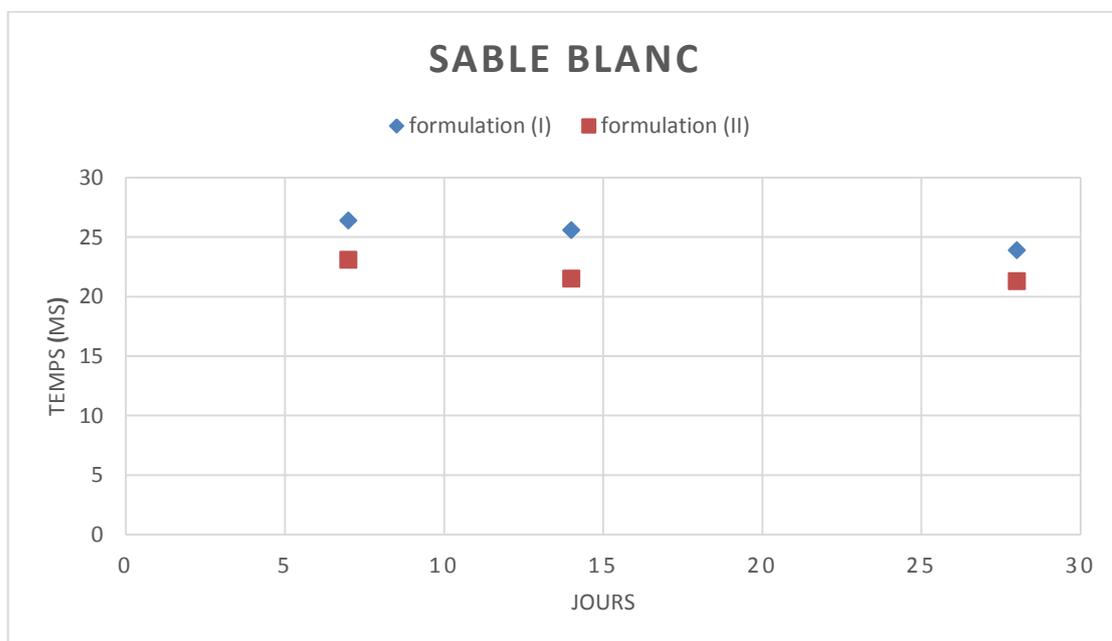


Figure 4.15.: Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formulation (I,II) sable blanc

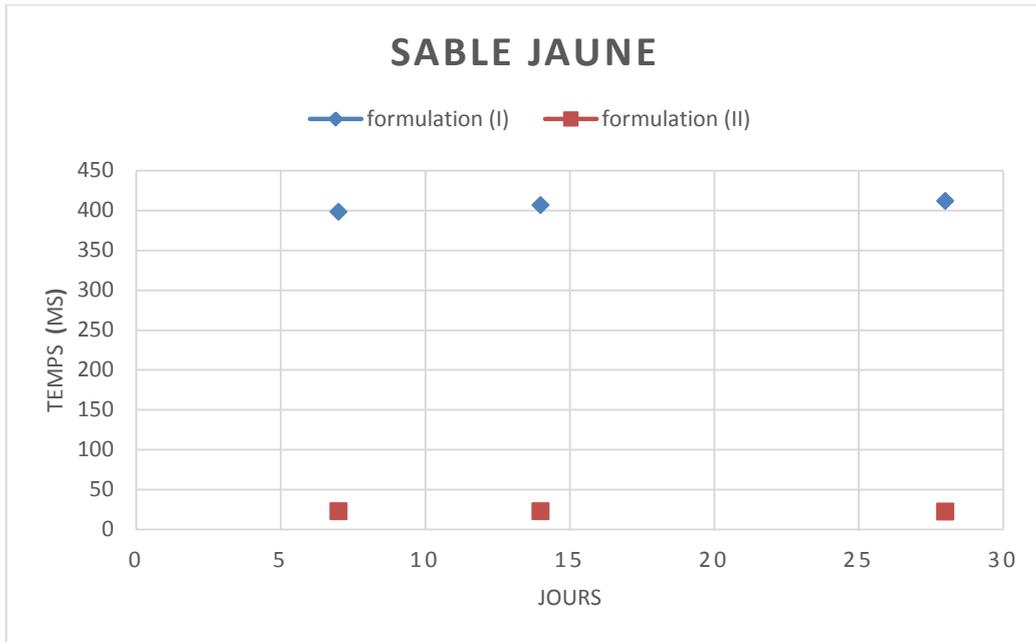


Figure 4.16.: Temps des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formulation (I,II) de sable jaune

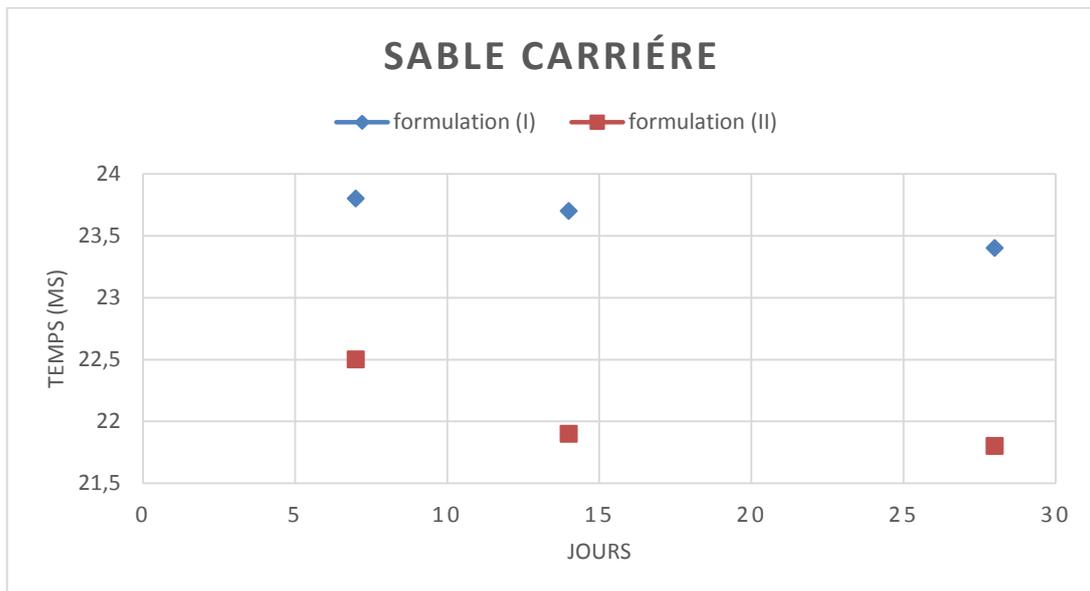


Figure 4.17 : module d'élasticité de la formulation (I,II) sable jaune en(MPa)

La mesure du temps de propagation des ondes à l'aide d'ultrason, faites sur 18 échantillons, en fonction du temps jusqu'à 28 jours. Les figures représentent les résultats des temps de propagation des ondes ultrasoniques en fonction du temps. On observe que, le temps de propagation des ondes et diminuée avec l'âge des éprouvettes

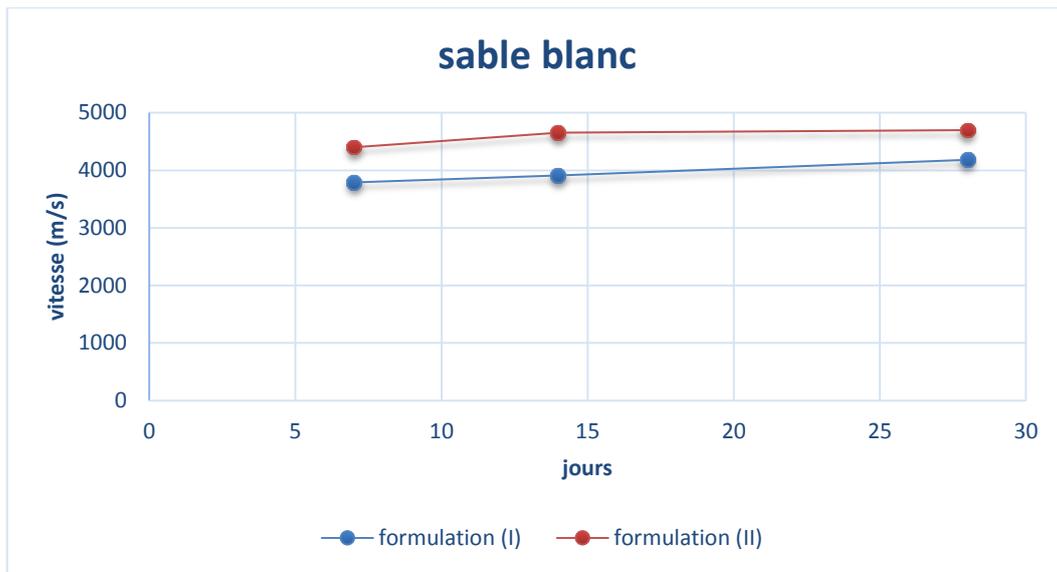


Figure.4.18 : Vitesse (m/s) des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formulation (I,II) sable blanc

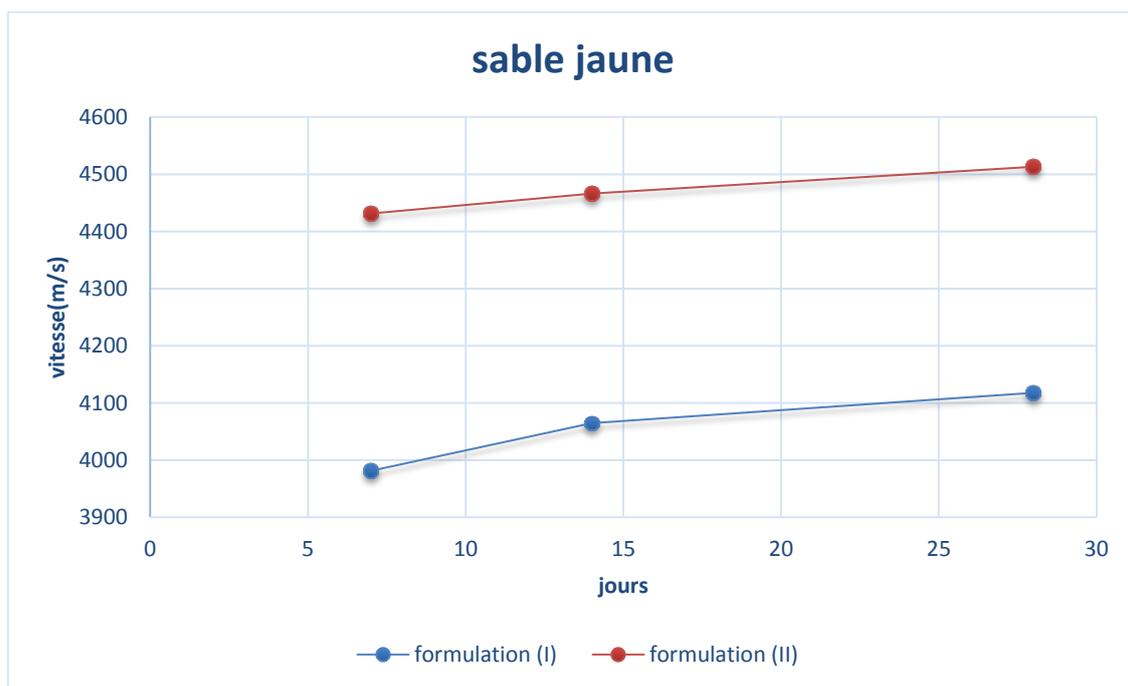


Figure.4.19 : Vitesse (m/s) des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formulation (I,II) de sable jaune

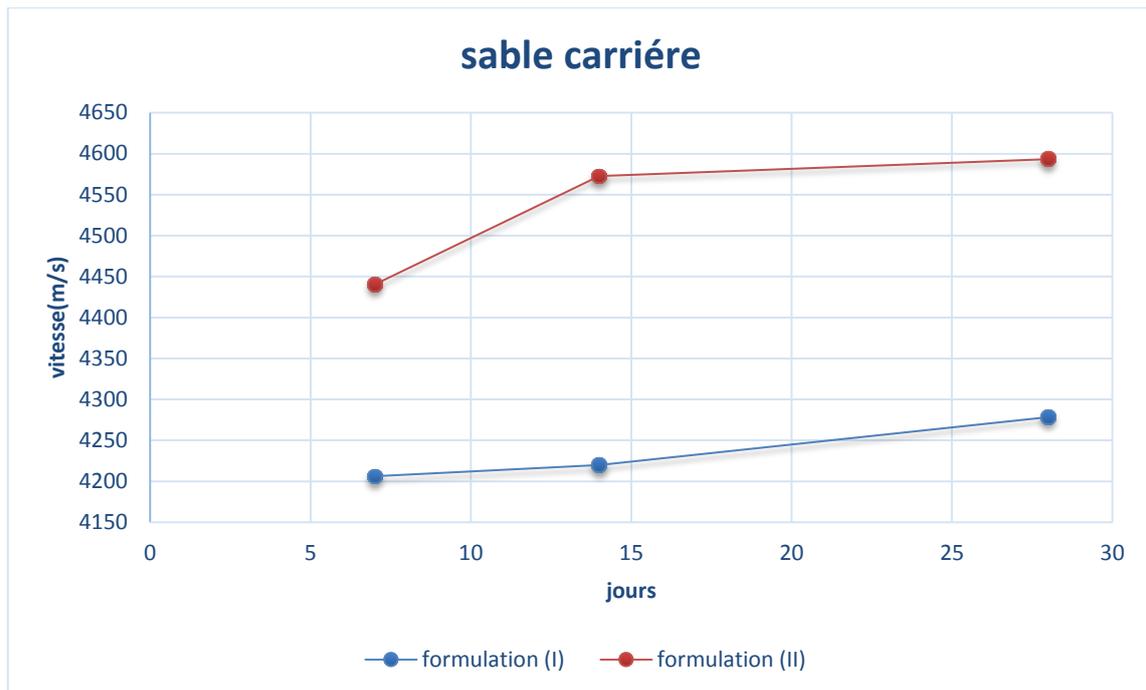


Figure 4.20.: Vitesse (m/s) des ondes ultrasoniques sur des éprouvettes de formulation (I,II) de sable carrière

Ces graphes représentent la progression de la vitesse avec le temps (nombre des jours) et en fonction du formulation (I,II) à 7j,14j et 28jours Sur 18 éprouvettes . On observe que la valeur de vitesse augmenter avec l'âge des éprouvettes.

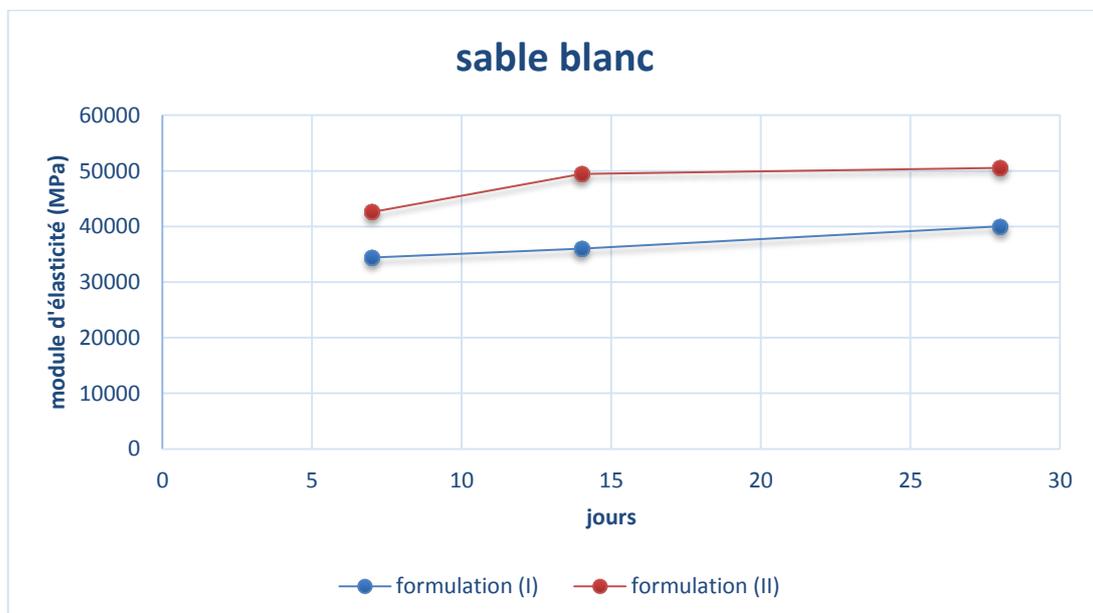


Figure 4.21 : module d'élasticité de la formulation (I,II) sable blanc en (MPa)

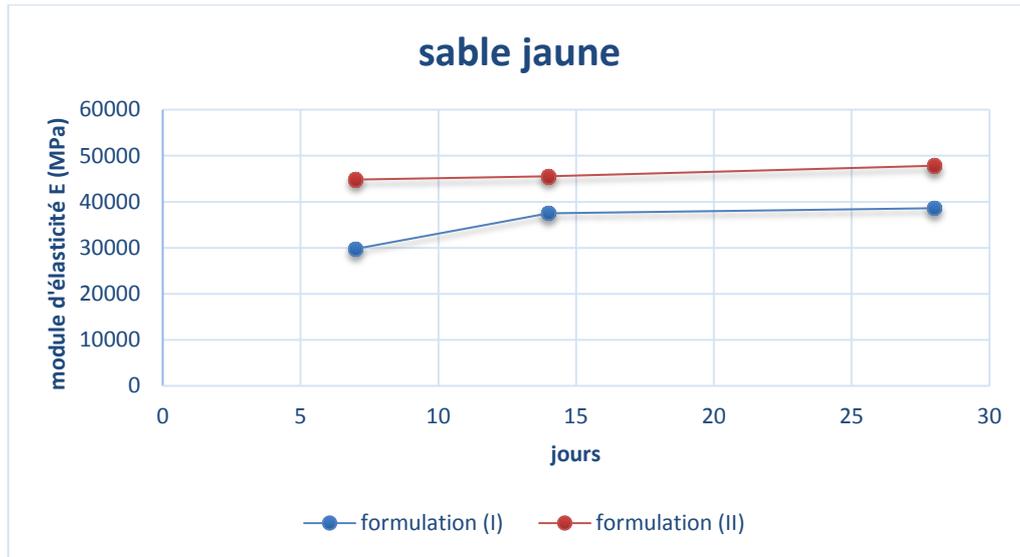


Figure 4.22: module d'élasticité de la formulation (I,II) sable jaune en(MPa)

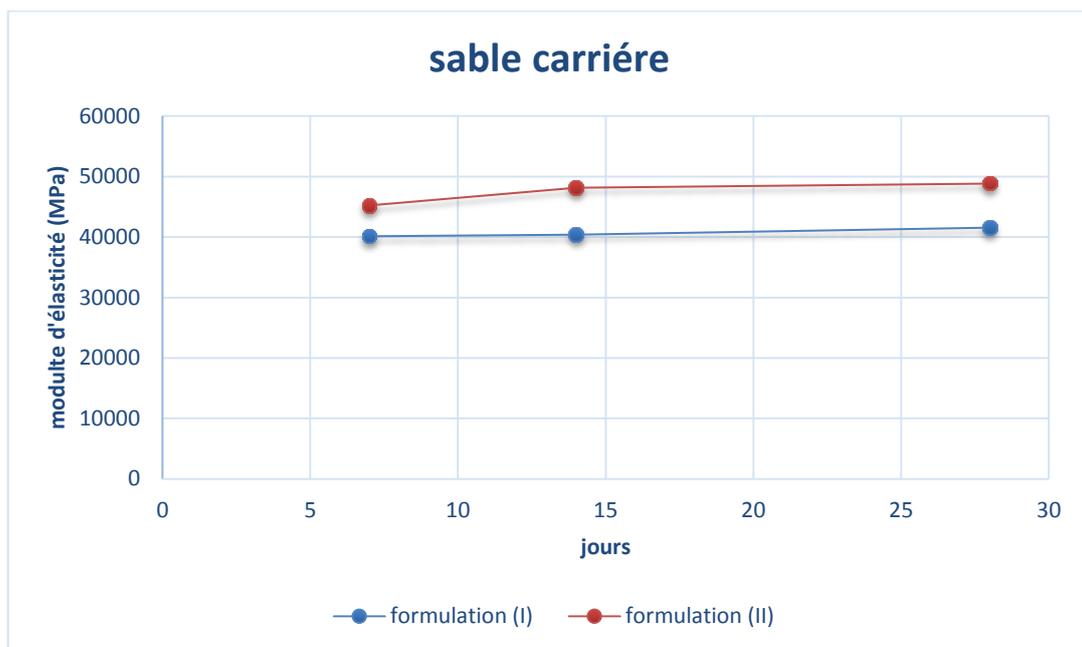


Figure 4.23: module d'élasticité de la formulation (I,II) sable carrière en(MPa)

Ces graphes représentent la progression du module d'élasticité avec le temps (nombre des jours) et en fonction du formulation (I,II) a 7j,14j et 28 jours. On remarque que le module d'élasticité augmenter avec l'âge des éprouvettes et plus grande pour formulation (I)

8. La résistance à la compression : [NF-EN12390-3]

La résistance à la compression est la capacité d'un matériau ou d'une structure à supporter les charges qui tendent à réduire sa taille par compression (écrasement), par opposition à la résistance à la traction qui est une résistance à l'allongement (éclatement)

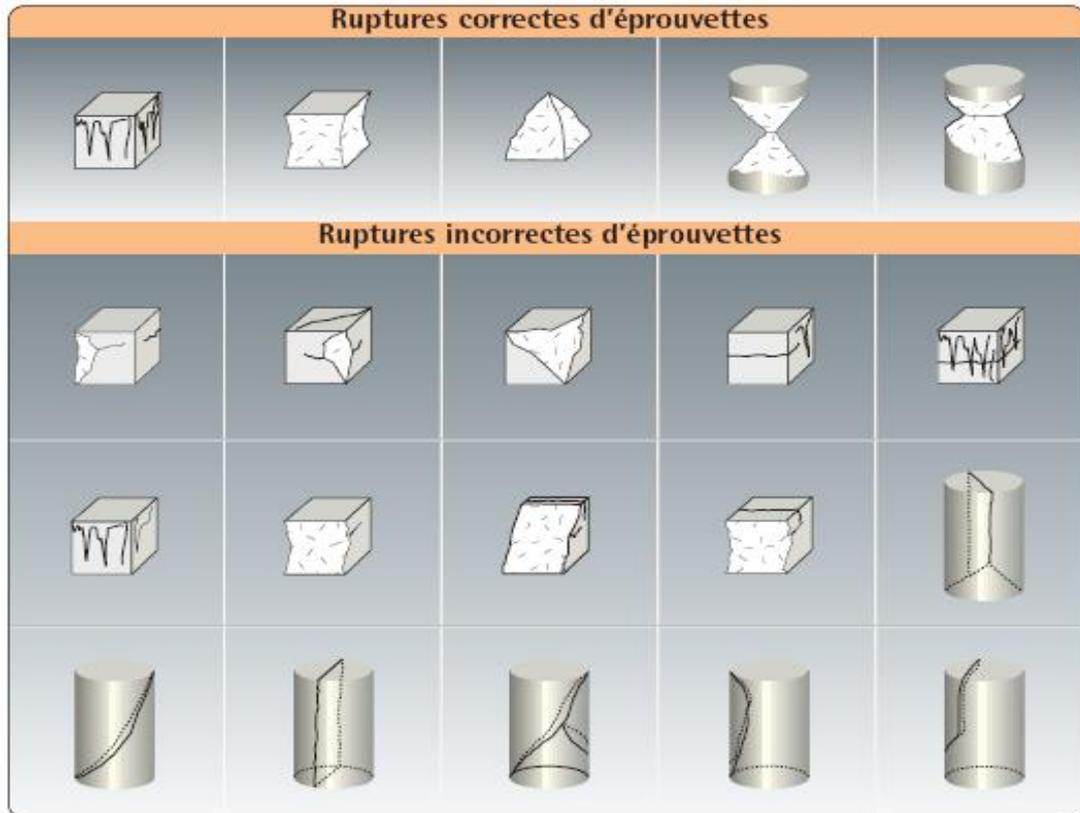


Figure4.24: Type des ruptures des éprouvettes

- **Exécution de l'essai :**

l'essai de la résistance à la compression simple [norme NF-EN12390-3] réalisée sur des éprouvettes cubiques d'un mélange de deux types de sables (sable blanc ,sable jaune) des mines et sable carrière aux liants hydrauliques (ciment), ayant des dimensions (100*100*100) mm conservés dans l'eau à température 18°C ,l'échantillon est soumise à une sollicitation en compression par l'intermédiaire d'une presse (appareil de compression simple) jusqu'à rupture , La mise en charge de l'éprouvette se fait en continu avec une vitesse statistique 4 KN/S . Les écrasements sont répartis comme suit : immédiatement après 7 jours de moulage puis au deuxième âge après 14 jours et au troisième âge après 28 jours.

Formes	Dimensions	Vitesses de montée en charge
Cylindres	Ø 160 x 320 mm	de 4 à 20 kN/s
	Ø 150 x 300 mm	de 3,5 à 17,7 kN/s
	Ø 113 x 226 mm	de 2 à 10 kN/s
	Ø 100 x 200 mm	de 1,6 à 7,9 kN/s
Cubes	150 x 150 mm	de 4,5 à 22,5 kN/s
	100 x 100 mm	de 2 à 10 kN/s
Cube ou cylindre	Autre forme (surface S mm ²)	de 0,2 10 ⁻³ S à 10 ⁻³ S (kN/s)

Tableau4.20 : Vitesse de montée en charge préconisées en fonction des dimensions des éprouvettes [2]

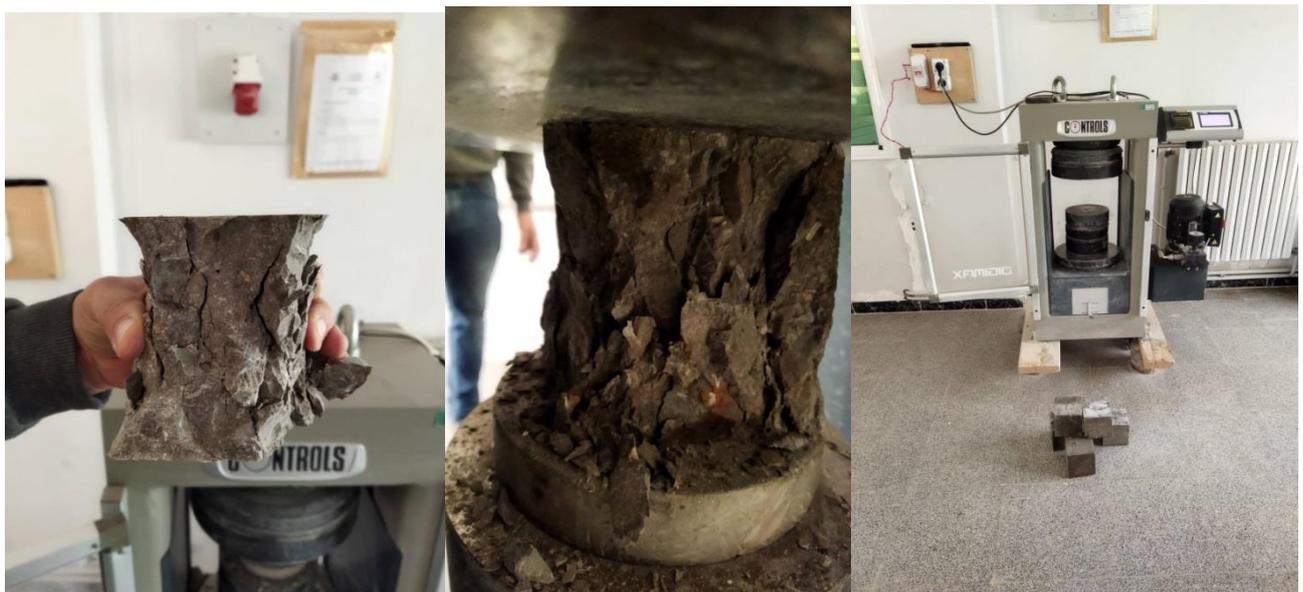


Figure4.25: Essai de compression simple

8.1. Résultats de résistance à la compression

Pour la formulation (I) on trouve les résultats suivants :

- **Sable blanc F (I) :**

- _Forme et dimension des éprouvettes : cubique (10*10*10) cm
- Affaissement au cône d'ABRAMS : 3-5
- Conditions de conservation : à l'eau

Tableau4.21 : Formulation de béton (I) sable blanc

Formulation de béton (I)	Matériau	Dosage (kg)	Matériau	Dosage (L)
	Sable Blanc	17,73	adjuvant	0.0805
	Gravier (3/8)	10,09	eau	4,41
	Gravier (8/15)	21,14		
	ciment	8,82		

Tableau.4.22 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable blanc F (I)

N° d'éprouve	Age (j)	Masse pesée Démoulage (g)	Masse pendante L'essai (g)	Masse volumique pesée Démoulage (g/cm3)	Moyenne (g/cm3)	Masse volumique pendant L'essai (g/cm3)	Moyenne (g/cm3)	Résistance à la compression (MPa)	Moyenne (MPa)
1	7	2455	2460	2,455	2,455	2,460	2,461	25,52	27,16
		2450	2460	2,450		2,460		27,6	
		2455	2465	2,455		2,465		28,36	
2	14	2454	2472	2,454	2,469	2,472	2,478	33,05	32,14
		2476	2480	2,476		2,480		33,64	
		2477	2482	2,477		2,482		29,75	
3	28	2481	2490	2,481	2,484	2,490	2,498	48,54	52,26
		2486	2495	2,486		2,495		59,10	
		2485	2493	2,485		2,493		49,16	

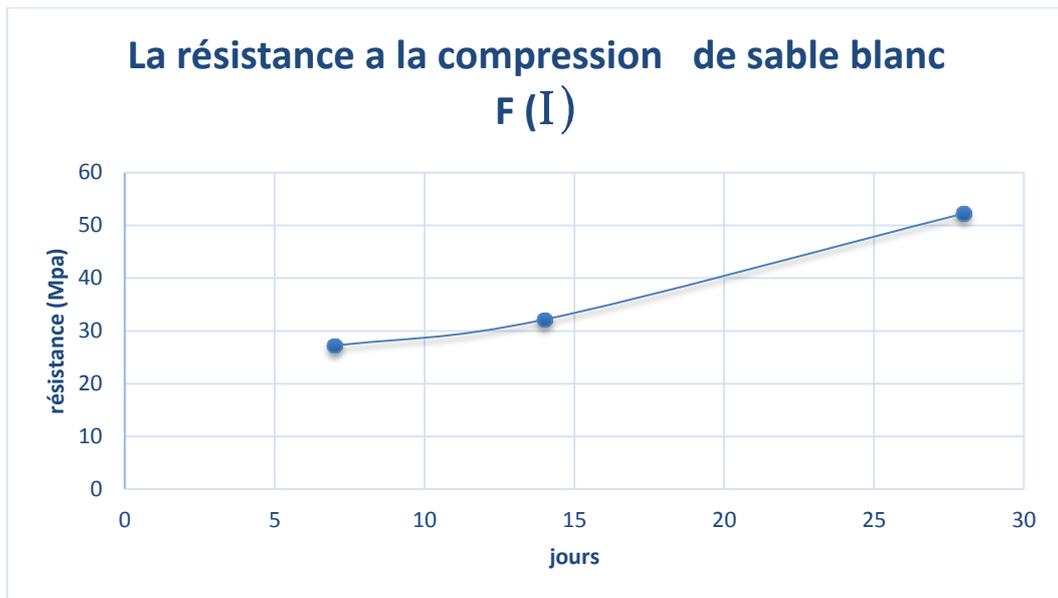


Figure 4.26 : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable blanc F (I)

• **Sable jaune F(I) :**

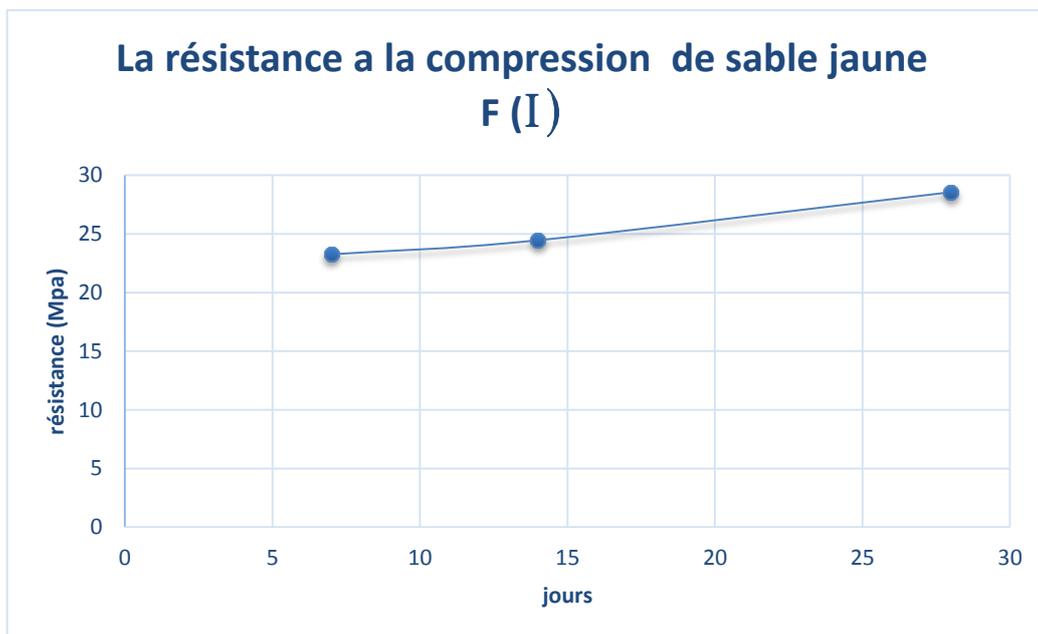
- Forme et dimension des éprouvettes : cubique (10*10*10) cm
- Affaissement au cône d'ABRAMS : 3-5
- Conditions de conservation : à l'eau

Tableau4.23 : Formulation de béton (I) sable Jaune

	Matériau	Dosage (kg)	Matériau	Dosage (L)
Formulation de béton(I)	Sable Jaune	16,07	Adjuvant	0.0805
	Gravier (3/8)	11,06	Eau	4.,41
	Gravier (8/15)	20,20		
	Ciment	8,82		

Tableau.4.24 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable jaune F (I)

N° d'éprouve	Age (j)	Masse pesée Démoulage (g)	Masse pendant l'essai (g)	Masse volumique pesée Démoulage (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)	Masse volumique pesée pendant l'essai (g)	Moyenne (g/cm ³)	Résistance à la compression (MPa)	Moyenne (MPa)
1	7	2464	2475	2,464	2,466	2,475	2,478	23,56	23,26
		2462	2489	2,462		2,489		21,86	
		2460	2470	2,460		2,470		24,37	
		2486	2491	2,486		2,491		26,46	
2	14	2485	2492	2,485	2,485	2,492	2,493	21,34	24,46
		2484	2490	2,484		2,490		26,13	
3	28	2480	2490	2,480	2,488	2,490	2,5	27,02	52,26
		2495	2505	2,495		2,505		28,10	
		2490	2500	2,490		2,500		30,56	

**Figure 4.27** : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable jaune F (I)

- **Sable carrière $F (I)$:**

- Forme et dimension des éprouvettes : cubique (10*10*10) cm
- Affaissement au cône d'ABRAMS : 3-5
- Conditions de conservation : à l'eau

Tableau4.25 : Formulation de béton (I) sable carrière

	Matériau	Dosage (kg)	Matériau	Dosage (L)
Formulation de béton(I)	Sable carrière	17,90	Adjuvant	0,0805
	Gravier (3/8)	10,09	Eau	4,41
	Gravier (8/15)	19,70		
	Ciment	8,82		

Tableau.4.26 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (I).

N° d'épro	Age (j)	Masse pesée Démoulage (g)	Masse pendante l'essai (g)	Masse volumique pesée Démoulage (g/cm3)	Moyenne (g/cm3)	Masse volumique pendant l'essai (g/cm3)	Moyenne (g/cm3)	Résistance à la compression (MPa)	Moyenne (MPa)
1	7	2437	2440	2,437	2,4	2,440	2,45	23,56	25,08
		2430	2435	2,430		2,435		22,87	
		2333	2450	2,333		2,450		28,80	
2	14	2455	2469	2,455	2,464	2,469	2,473	28,72	27,93
		2468	2471	2,468		2,471		24,70	
		2469	2473	2,469		2,473		30,36	
3	28	2470	2473	2,470	2,472	2,473	2,48	34,76	37,11
		2468	2482	2,468		2,482		37,95	
		2478	2485	2,478		2,485		38,63	

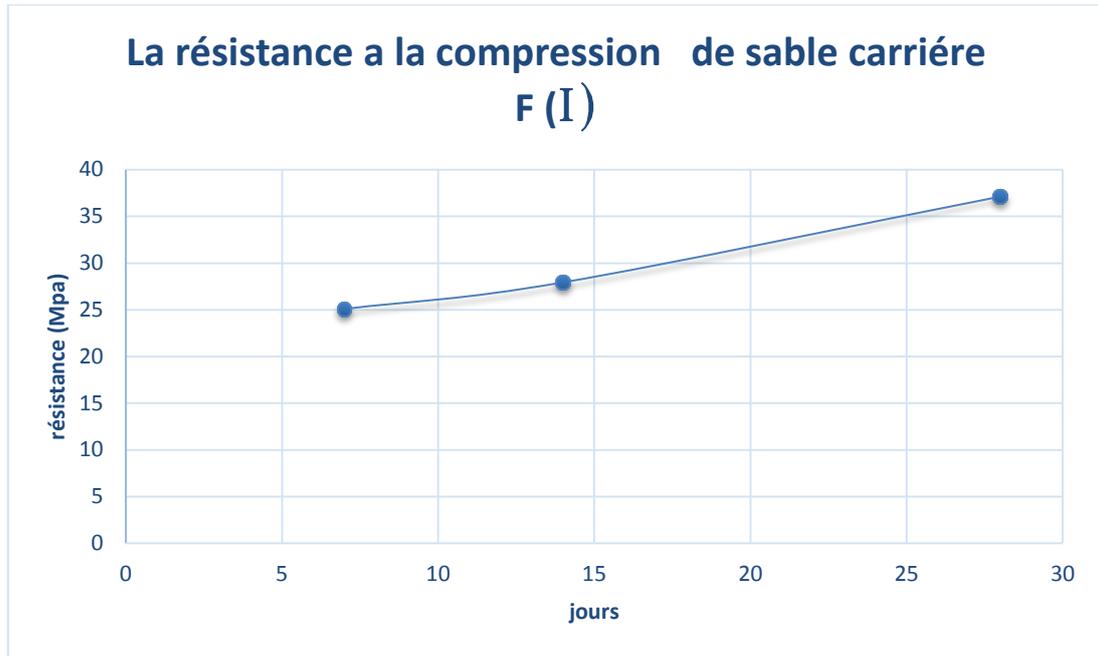


Figure 4.28: La courbe de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (I).

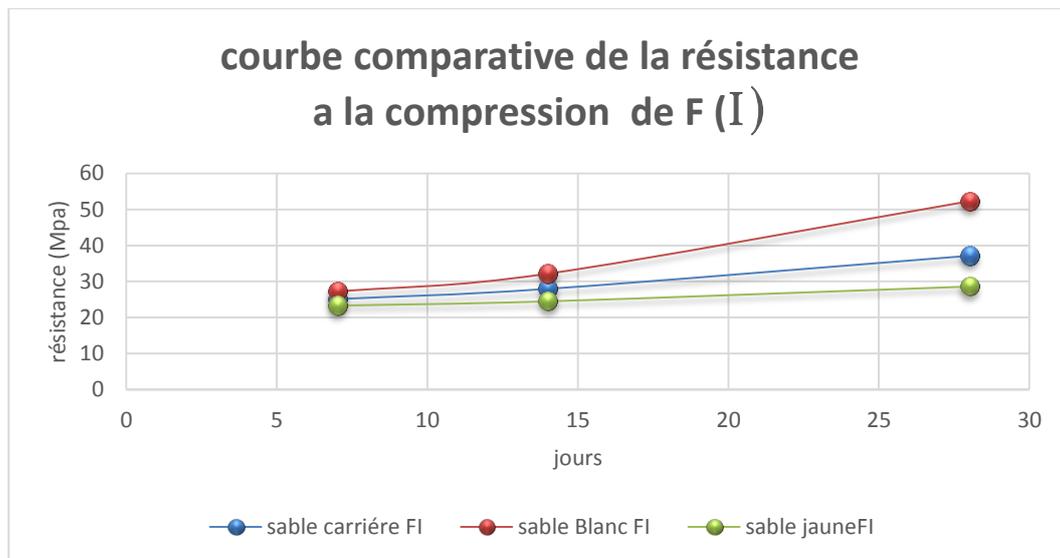


Figure 4.29 : courbe de la résistance à la compression de la formulation (I)

Interprétation :

Nous avons effectué des essais de compression simple pour les trois types de sables à formulation I d'âge respectif de 7 ,14 et 28 jours. D'après les résultats obtenus on peut constater que la résistance à la compression est faible pour le sable jaune tandis qu'elle est forte pour le sable blanc et aussi pour le sable de la carrière. La figure ci-dessus montre bien l'évolution de la résistance à la compression simple des trois sable choisis. Le seuil des résistances atteint est celui du sable blanc qui évolue rapidement à 28 jours pour atteindre la valeur de 52,26 MPa.

8.2. Résultats de résistance à la compression Pour la formulation (II):

Pour la formulation (II) on trouve les résultats suivants :

- **Sable blanc F(II) :**

- Forme et dimension des éprouvettes : cubique (10*10*10) cm
- Affaissement au cône d'ABRAMS : 3-5
- Conditions de conservation : à l'eau

Tableau4.27 : Formulation de béton (II) sable blanc

	Matériau	Dosage (kg)	Matériau	Dosage (L)
Formulation de béton(II)	Sable Blanc	15,70	Adjuvant	0,0805
	Gravier (3/8)	6,24	Eau	4,41
	Gravier (8/15)	6,72		
	Gravier (15/25)	7,58		
	Ciment	8,82		

Tableau.4.28 : Résultats de la résistance à la compression de la formulation sable blanc F (II).

N° d'éprouve	Age (j)	Masse pesée Démoulage (g)	Masse pendante l'essai (g)	Masse volumique pesée Démoulage (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)	Masse volumique pendant l'essai (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)	Résistance à la compression (MPa)	Moyenne (MPa)
1	7	2467	2478	2,467	2,465	2,478	2,478	34,18	45,15
		2463	2470	2,463		2,470		58,76	
		2465	2486	2,465		2,486		42,52	
2	14	2480	2490	2,480	2,485	2,490	2,493	49,07	47,25
		2477	2491	2,477		2,491		45,92	
		2483	2498	2,483		2,498		46,75	
3	28	2490	2500	2,490	2,491	2,500	2,5	61,41	60,63
		2498	2505	2,498		2,505		58,26	
		2485	2495	2,485		2,495		62,22	

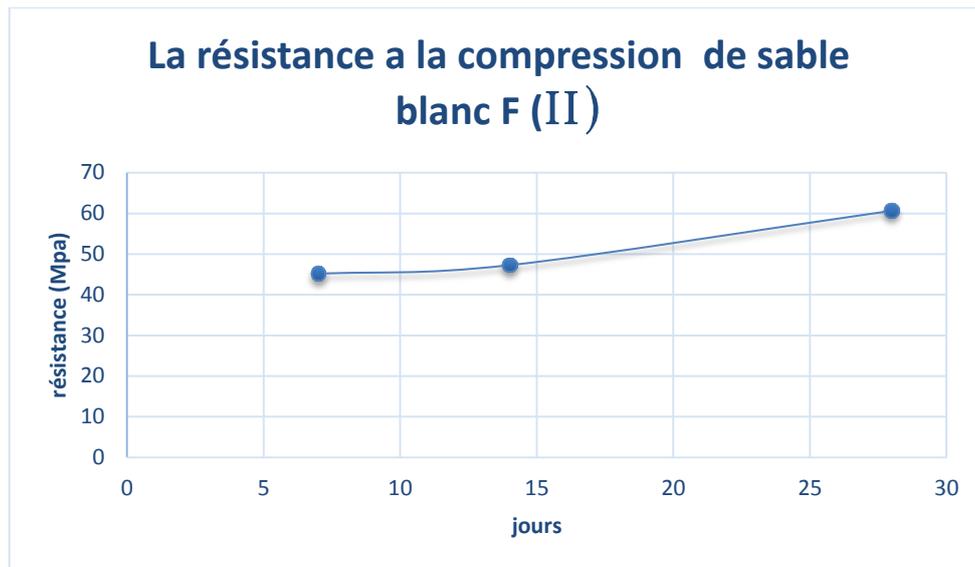


Figure 4.30: La courbe de la résistance à la compression de la formulation sable blanc F (II)

• **Sable jaune F(II) :**

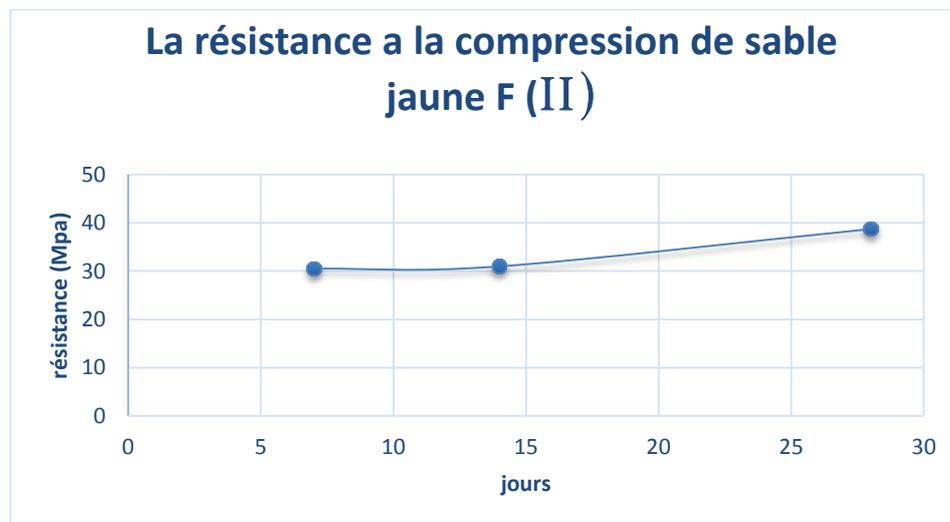
- Forme et dimension des éprouvettes : cubique (10*10*10) cm
- Affaissement au cône d'ABRAMS : 3-5
- Conditions de conservation : à l'eau

Tableau4.29 : Formulation de béton (II) sable Jaune

	Matériau	Dosage (kg)	Matériau	Dosage (L)
Formulation de béton (II)	Sable Jaune	15,15	Adjuvant	0,805
	Gravier (3/8)	4,80	Eau	4,41
	Gravier (8/15)	5,76		
	Gravier (15/25)	21,63		
	Ciment	8,82		

Tableau.4. 30 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable jaune (II).

N° d'éprouve	Age (j)	Masse pesée Démoulage (g)	Masse pendante l'essai (g)	Masse volumique pesée Démoulage (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)	Masse volumique pendant l'essai (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)	Résistance à la compression (MPa)	Moyenne (MPa)
1	7	2445	2,449	2,445	2,479	2,449	2,487	22,31	30,47
		2435	2,446	2,435		2,446		35,96	
		2557	2,565	2,557		2,565		33,15	
2	14	2480	2485	2,480	2,484	2,485	2,489	31,43	30,97
		2486	2488	2,486		2,488		32,27	
		2487	2494	2,487		2,494		29,21	
3	28	2475	2482	2,475	2,480	2,482	2,491	40,77	38,70
		2480	2488	2,480		2,488		36,78	
		2485	2503	2,485		2,503		38,54	

**Figure 4.31** : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable jaune F (II).

- **Sable carrière F(II) :**

- Forme et dimension des éprouvettes : cubique (10*10*10) cm
- Affaissement au cône d'ABRAMS : 3-5
- Conditions de conservation : à l'eau

Tableau4.31 : Formulation de béton (II) sable carrière

	Matériau	Dosage (kg)	Matériau	Dosage (L)
Formulation de béton (II)	Sable carrière	15,08	Adjuvant	0,805
	Gravier (3/8)	5,28	Eau	4,41
	Gravier (8/15)	6,72		
	Gravier (15/25)	20,66		
	ciment	8,82		

Tableau.4.32 : Résultats de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (II).

N° d'éprouve	Age (j)	Masse pesée Démoulage (g)	Masse pendante l'essai (g)	Masse volumique pesée Démoulage (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)	Masse volumique pendant l'essai (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)	Résistance à la compression (MPa)	Moyenne (MPa)
1	7	2485	2495	2,485	2,489	2,495	2,5	20,10	33,32
		2488	2505	2,488		2,505		36,10	
		2494	2500	2,494		2,500		43,78	
2	14	2490	2495	2,490	2,503	2,495	2,511	36,98	34,16
		2504	2507	2,504		2,507		32,76	
		2515	2520	2,515		2,520		32,76	
3	28	2534	2540	2,534	2,515	2,540	2,523	54,53	42,84
		2522	2525	2,522		2,525		38,96	
		2492	2495	2,492		2,495		35,05	

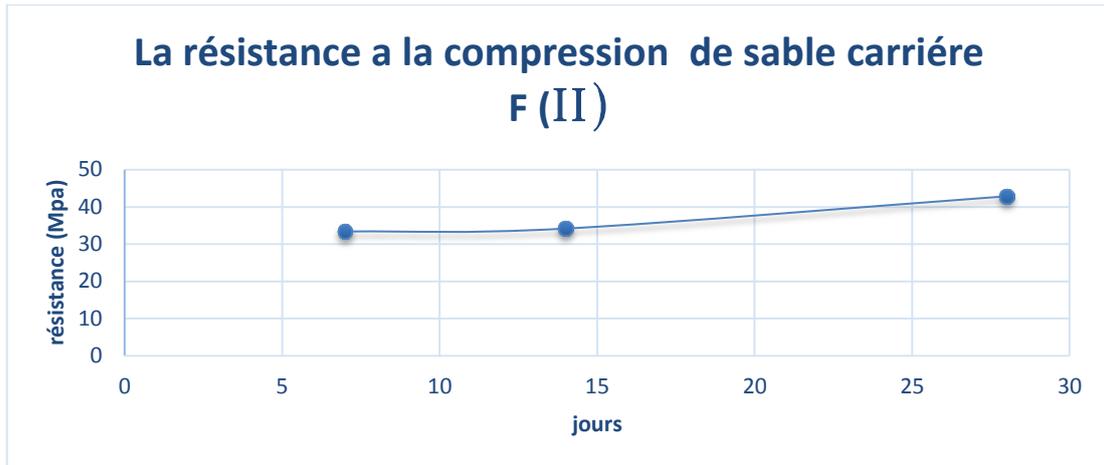


Figure 4.32 : La courbe de la résistance à la compression de formulation sable carrière F (II).

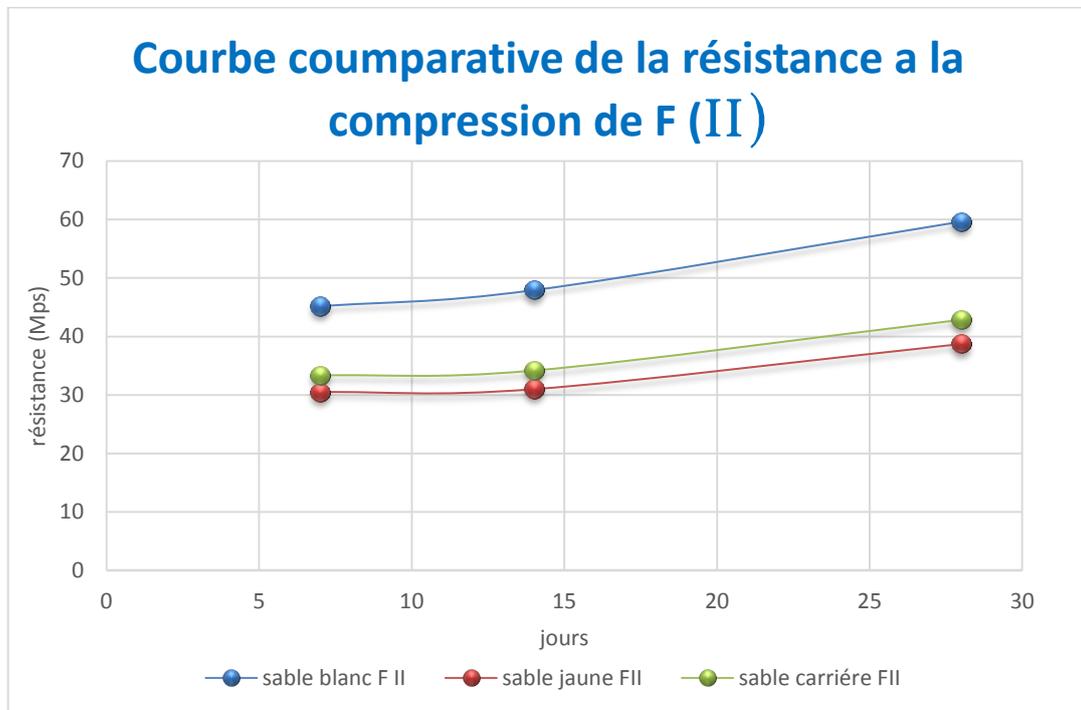


Figure 4.33 : Courbe de la résistance à la compression de formulation (II)

Interprétation :

Nous avons effectué des essais de compression simple pour les trois type de sables à formulation (II) d'âge respectif de 7 ,14 et 28 jours. D'après les résultats obtenus on peut constater que la résistance à la compression est faible pour le sable jaune tandis qu'elle est forte pour le sable blanc et aussi pour le sable de la carrière. La figure ci-dessus montre bien l'évolution de la résistance à la compression simple des trois sable choisis. Le seuil des résistances atteint est celui du sable blanc qui évolue rapidement à 28 jours pour atteindre la valeur de 60,63Mpa

9 .Essai mesure ph :

9.1. Principe de l'essai :

Il existe de nombreux indicateurs colorés permettant de visualiser les changements des pH (Bleu de thymol ; rouge de phénol ; thymol-phtaléine, bleu de quinoléine). Ils doivent être choisis selon la plage de ph envisager d'autre procédés peuvent aussi être mis en œuvre (l'utilisation d'un appareil de mesure ou de papier ph

9.2.Exécution de l'essai :

La phénolphtaléine est un indicateur coloré servant à estimer le ph dans les dosages d'acide faible ou de base forte .Il change de couleur selon la valeur du ph de solution .Il vire de l'incolore en milieu acide au rose pour un ph supérieur à 8, les différentes teintes sont rappelées dans le tableau ci-dessous

Nom	Zone de virage de ph	Ph	Couleur
Phénolphtaléine	$8.2 < \text{ph} < 9.9$	Ph < 8.2 $8 < \text{ph} < 9.6$ Ph > 9.6	Incolore Rosâtre Rose soutenu

Tableau 4.33 : couleur d'indicateur phénolphtaléine en fonction du ph[34]



Figure4.34 : L'essai de mesure Ph à l'aide de phénolphtaléine

En utilisant l'indicateur phénolphtaléine pour mesure le Ph, on observe un couleur rose soutenu, donc le Ph est supérieur à 9 (milieu basique)

10. La résistance à la flexion : [NF EN 1290-5]

L'essai de flexion 3 point permet également de mesurer la résistance à la rupture d'un matériau. Une barrette du matériau à tester est placée sur deux appuis et l'on applique au centre de la barrette une force croissante jusqu'à rupture. Lors du test, la partie supérieure est en compression et la partie inférieure en traction.



Figure 4.35 : Essai de la flexion simple

10.1. Les résultats de la résistance à la flexion :

Pour la formulation (I) on trouve les résultats suivants :

- **Sable blanc (I)**

Tableau.4.34 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable jaune F (I)

Sable blanc (I)	
Composition	28J
R1	26,96
R2	27,08
R3	26,09
Moyenne	26,71

- Sable jaune (I)

Tableau.4.35 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable jaune F (I)

Sable jaune (I)	
Composition	28J
R1	20,26
R2	19,58
R3	19,99
Moyenne	19,94

- Sable carrière (I) :

Tableau.4.36 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation Sable carrière F (I)

Sable carrière F (I)	
Composition	28J
R1	22,31
R2	20,56
R3	23,11
Moyenne	21,99

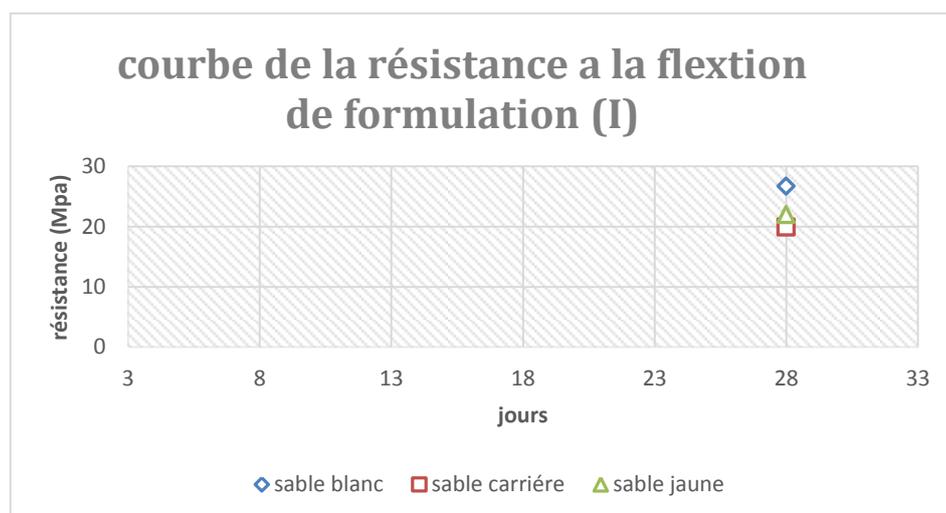


Figure 4.36 : courbe de la résistance à la flexion de la formulation (I)

Une relation géométrique entre le nombre de jours en fonction de la résistance à la flexion après 28 jours, on réalise que pour le sable blanc la résistance à la flexion est nettement plus supérieure que celle du sable jaune ou le sable de la carrière

10.2 Résultats de résistance à la flexion Pour la formulation (II):

Pour la formulation (II) on trouve les résultats suivants :

- **Sable blanc (II) :**

Tableau.4.37 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable blanc F (II)

Sable blanc F (II)	
Composition	28J
R1	36,69
R2	38,46
R3	38,55
Moyenne	37,9

- **Sable jaune F (II) :**

Tableau.4.38 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable jaune F (II)

Sable Jaune F (II)	
Composition	28J
R1	23,30
R2	21,43
R3	22,45
Moyenne	22,39

- **Sable carrière F (II):**

Tableau.4.39 : Résultats de la résistance à la flexion de formulation sable carrière F (II)

Sable carrière F (II)	
Composition	28J
R1	25,29
R2	23,29
R3	24,57
Moyenne	24,38

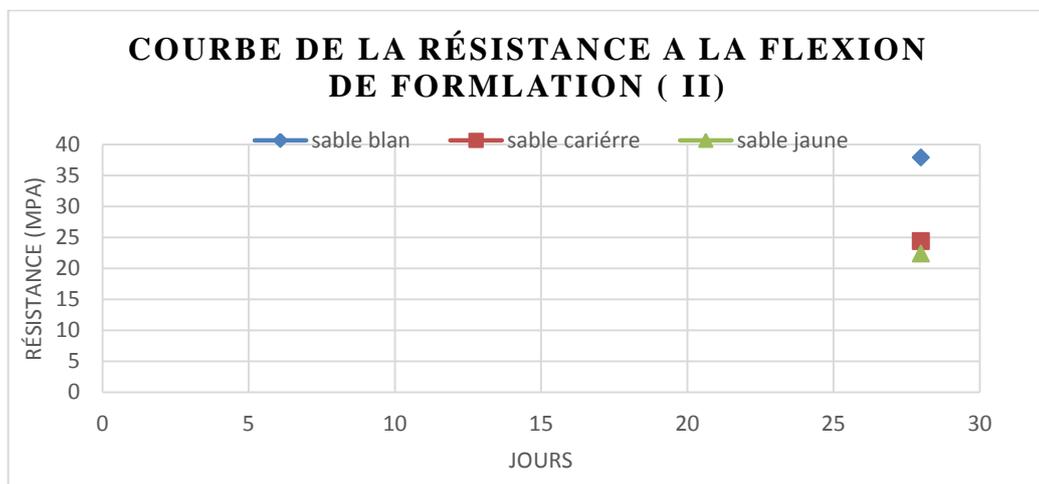


Figure 4.37 : courbe de la résistance à la flexion de la formulation (II).

Une relation géométrique entre le nombre de jours en fonction de la résistance à la flexion après 28 jours, on réalise que pour le sable blanc la résistance à la flexion est nettement plus supérieure que celle du sable jaune ou le sable de la carrière

Conclusion

Le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques, la durabilité, la qualité et des composants.

Dans ce chapitre, les différentes caractéristiques physiques et mécaniques du composant ont été établies. Les courbes granulométriques de toutes les classes granulaires sont présentées. La méthode de formulation a été développée et le calcul des proportions des constituants de notre programme expérimental étant fait, ainsi les essais sur béton frais et durci que ce soit destructif et d'écrasement ont été effectués.

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons effectué une caractérisation mécanique, physique et chimique des sables minières de la mine de Djebel El-Onk (gisement kef-Esnoun). En vue de leur utilisation dans les travaux de construction et dans la formation des matériaux de construction et l'étendue de l'harmonie de ce sable dans la formulation du béton.

Après le prélèvement d'échantillon à partir de la zone de stockage de la mine, les échantillons ont été acheminés vers le laboratoire de l'université de Larbi Tebessi où ils ont été soumis aux différents essais géotechniques, selon les résultats des essais physique, chimique et mécanique, nous trouvons que le sable c'est un moyen a grossier, et d'après le calcul des masses volumiques, on trouve que le type de sable est un sol minéral. Avec l'équivalent de sable de l'échantillon utilisé dans ce travail est 72 % pour le sable jaune et 82 % pour le sable blanc, Donc la nature et qualité du sable est Sable très propre .

Après cette étude expérimentale, nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

Sur les résultats obtenus : la résistance à la compression du béton pour les formulations (I, II), le seuil des résistances atteint est celui du :

- sable blanc qui évolue rapidement à 28 jours pour atteindre la valeur de 60,63MPa et 68,89 MPa à 90 jours, et pour la résistance à la flexion après 28 jours aussi , on réalise que la résistance à la flexion est 37,9 MPa

- Pour sable jaune nous amener une résistance à la compression égale 38,70 MPa à 28 jours et 40,11 MPa à 90 jours , et pour la résistance à la flexion après 28 jours aussi , on réalise que la résistance à la flexion est 22,39 MPa.

-Pour sable carrière nous amener une résistance à la compression égale 42,84 MPa à 28 jours et 61,53 MPa à 90 jours , et pour la résistance à la flexion après 28 jours aussi , on réalise que la résistance à la flexion est 24,38 MPa

Perspective :

Pour ceux qui veulent compléter ce travail pour connaître le secret de la résistance de ce type de sable (sable blanc) en réalisant des essais chimiques et physiques en laboratoire, ils peuvent s'appuyer sur cette mémoire , en leur souhaitant du succès.

L'annexe

Cas 04 : Formulation de béton ferme par le sable jaune 8/15 :

Point { X= 12.5
Y = 52

Point { X = 25
Y = 100 %

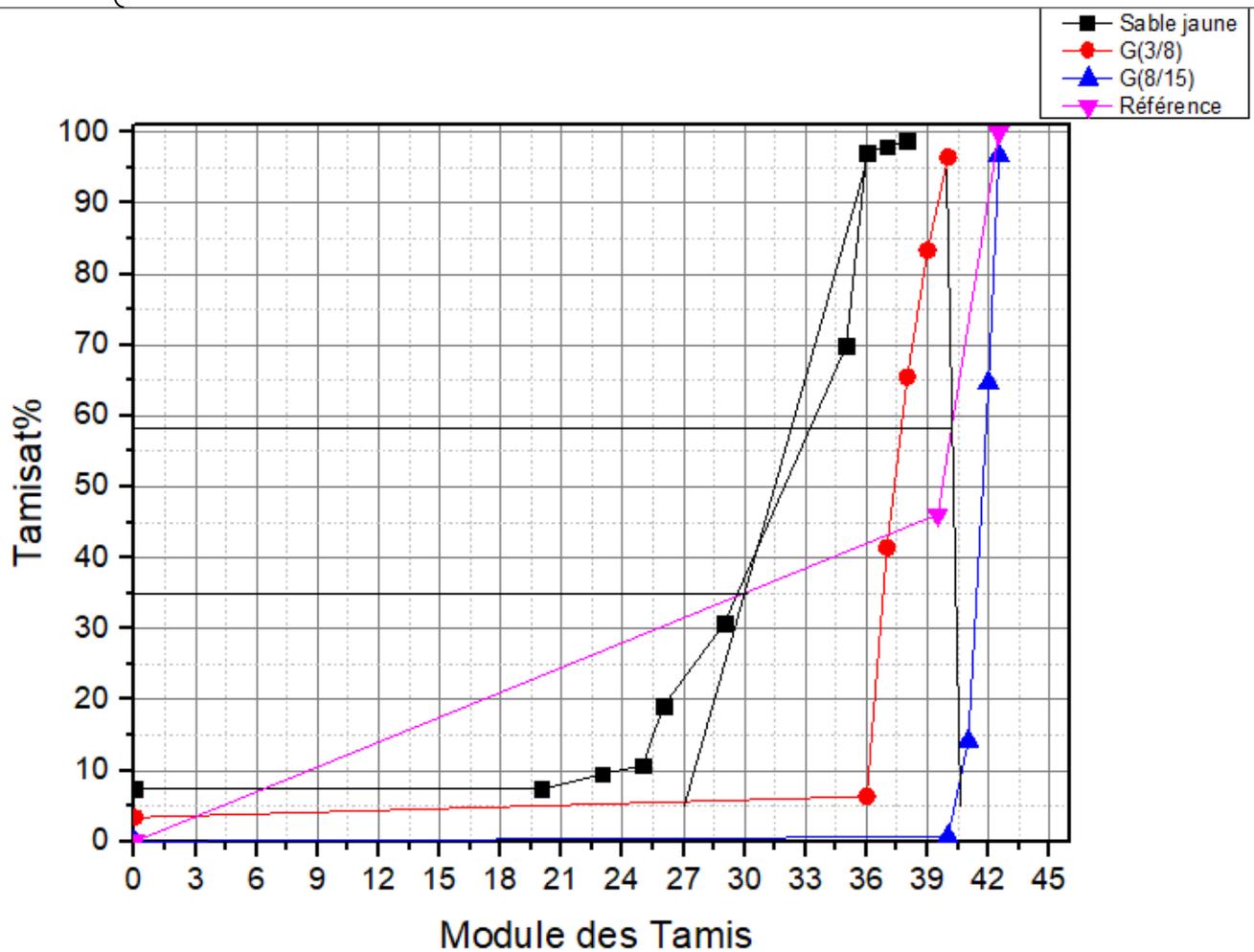


Figure 4.11 : La courbe granulométrique de référence (sable jaune 8/15)

- **Dosage des granulats :**

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Figure II.7) que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulat suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : Sable jaune, G3/8, G8/15.

- **Sable jaune : 35 %**
- **Gravier (3/8) : 23%**
- **Gravier (8/15) : 42 %**

On constate que le dosage des graviers est plus important par rapport au dosage de sable (G/S), on a procédé à la correction des dosages des granulats (G/S =1.79).

- **Coefficient de compacité γ**

- D =20
- Béton ferme donc $\gamma =0.830$ (voire l'annexe N°2),
- Bonne Vibration

- **Détermination de volume totale des granulats :**

$$V_C = \frac{C}{p}; \quad V_C = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ (vm}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

$$V_E = 1000\gamma - V_c$$

$$V_E = 1000(0.830) - 112,9 = 717,1 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

- ✓ Volume absolu du sable jaune = $717,1 * 0,35 = 250,98\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (3/8) = $717,1 * 0,23 = 165,07\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (8/15) = $717,1 * 0,42 = 301,43\text{L}$

- **Dosage pondéral des granulats (pour 1 m3 de béton):**

- **Sable jaune :**

$$S = v_1 * \gamma_s$$

$$\text{Sable jaune : } 250,98 * 2,803 = 637,74 \text{ kg/m}^3$$

- **G (3/8) :**

$$G = v_2 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (3/8) : } 165,07 * 2,66 = 439,08 \text{ kg/m}^3$$

- **G (8/15) :**

$$G = v_3 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (8/15)} : 301,43 * 2,66 = 801,80 \text{ kg/m}^3$$

Masse pour 0.0252 m :

- Ciment : $350 * 0.0252 = 8.82 \text{ kg}$
- Eau : $175 * 0.0252 = 4.41 \text{ L}$
- Adjuvant super plastifiant masse (ciment) = **80.5ml**
- Sable jaune : $637,74 * 0,0252 = 16,07\text{Kg}$
- G (3/8) : $439,08 * 0,0252 = 11,06\text{Kg}$
- G (8/15) : $801,80 * 0,0252 = 20,20\text{Kg}$

Cas 05 : Formulation de béton ferme par le sable blanc 15/25 :

$$\begin{array}{l} \text{Point} \\ \text{Point} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{X = 12.5} \\ \mathbf{Y = 52} \\ \mathbf{X = 25} \\ \mathbf{Y = 100 \%} \end{array} \right.$$

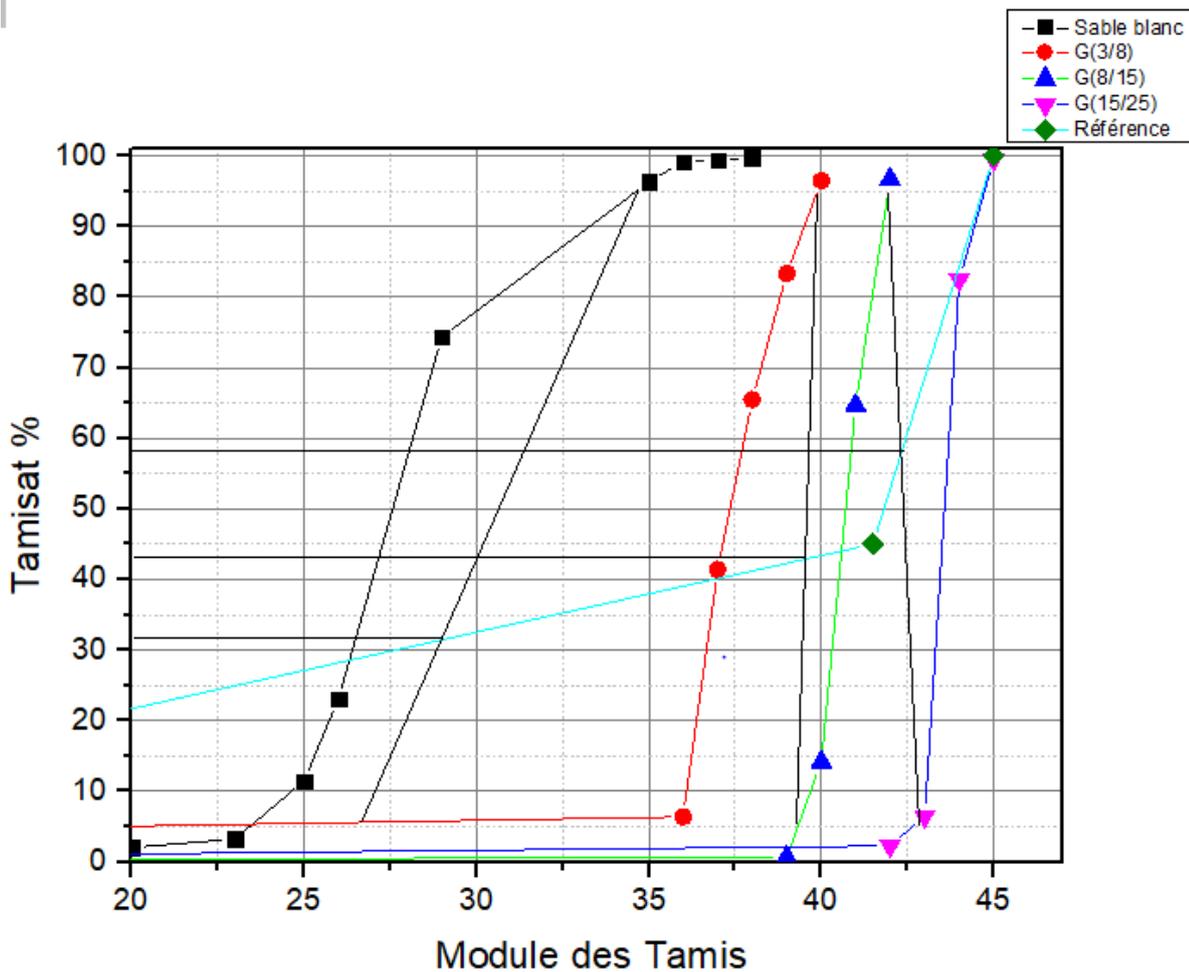


Figure 4.11 : La courbe granulométrique de référence (sable blanc 15/25)

▪ *Dosage des granulats :*

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Figure II.7) que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : Sable blanc, G3/8, G8/15, G15/25.

- **Sable blanc : 31 %**
- **Gravier (3/8) : 13 %**

- Gravier (8/15) : 14 %
- Gravier (15/25) : 42 %

On constate que le dosage des graviers est plus important par rapport au dosage de sable (G/S), on a procédé à la correction des dosages des granulats (G/S =1.79).

- **Coefficient de compacité γ**

- D =20
- Béton ferme donc $\gamma =0.830$ (voire l'annexe N°2),
- Bonne Vibration

- **Détermination de volume totale des granulats :**

$$V_C = \frac{C}{p}; \quad V_C = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ (vm}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

$$V_E = 1000\gamma - V_c$$

$$V_E = 1000(0.830) - 112.9 = 717,1 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

- ✓ Volume absolu du sable blanc = $717,1 * 0,31 = 222,3\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (3/8) = $717,1 * 0,13 = 93,22\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (8/15) = $717,1 * 0,14 = 100,39\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (15/25) = $717,1 * 0,42 = 301,18\text{L}$

- **Dosage pondéral des granulats (pour 1 m3 de béton):**

- **Sable blanc :**

$$S = v_1 * \gamma_s$$

$$\text{Sable blanc : } 222,3 * 2,803 = 623,10 \text{ kg/m}^3$$

- **G (3/8) :**

$$G = v_2 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (3/8)} : 93,22 * 2,66 = 247,96 \text{ kg/m}^3$$

➤ **G (8/15) :**

$$G = v_3 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (8/15)} : 100,39 * 2,66 = 267,03 \text{ kg/m}^3$$

➤ **G (15/25) :**

$$G = v_4 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (15/25)} : 301,18 * 2,66 = 801,13 \text{ kg/m}^3$$

Masse pour 0.0252 m :

- Ciment : $350 * 0,0252 = 8,82 \text{ kg}$
- Eau : $175 * 0,0252 = 4,41 \text{ L}$
- Adjuvant super plastifiant masse (ciment) = **80.5ml**
- Sable blanc : $623,10 * 0,0252 = 15,70 \text{ Kg}$
- G (3/8) : $247,96 * 0,0252 = 6,24 \text{ Kg}$
- G (8/15) : $267,03 * 0,0252 = 6,72 \text{ Kg}$
- G (15/25) : $301,18 * 0,0252 = 7,58 \text{ Kg}$

Cas 06 : Formulation de béton ferme par le sable carrière 15/25 :

$$\begin{array}{l} \text{Point} \\ \text{Point} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} X = 12.5 \\ Y = 52 \\ X = 25 \\ Y = 100 \% \end{array} \right.$$

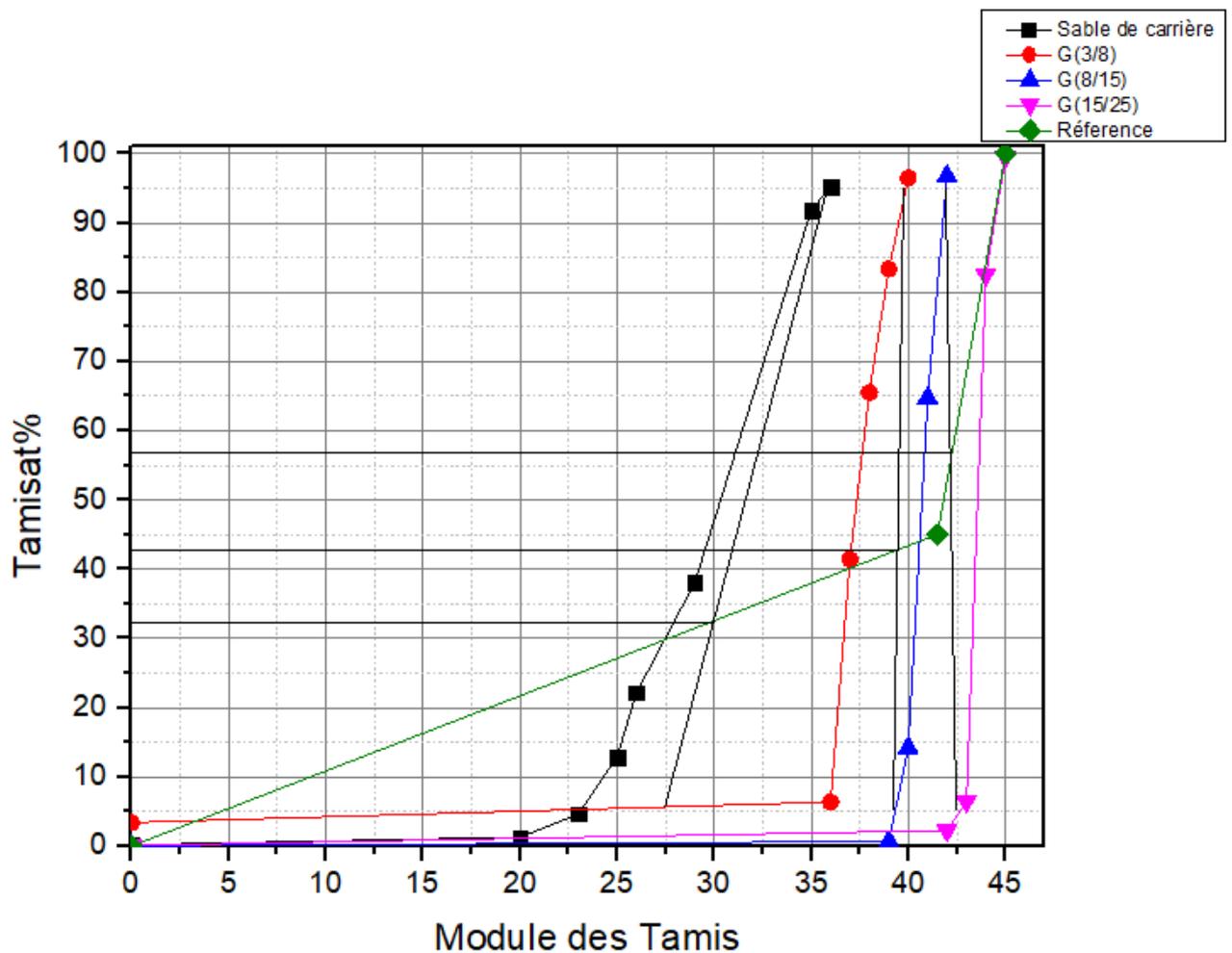


Figure 4.11 : La courbe granulométrique de référence (sable carrière 15/25)

▪ *Dosage des granulats :*

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Figure II.7) que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point à 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la ou les droites de partage le pourcentage en volume absolu de chacun des granulats : Sable carrière, G3/8, G8/15, G15/25.

- **Sable carrière : 32 %**
- **Gravier (3/8) : 11 %**
- **Gravier (8/15) : 14 %**

- **Gravier (15/25) : 43 %**

On constate que le dosage des graviers est plus important par rapport au dosage de sable (G/S), on a procédé à la correction des dosages des granulats (G/S =1.79).

- **Coefficient de compacité γ**

- D =20
- Béton ferme donc $\gamma =0.830$ (voire l'annexe N°2),
- Bonne Vibration

- **Détermination de volume totale des granulats :**

$$V_C = \frac{C}{p}; \quad V_C = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ (vm}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

$$V_E = 1000\gamma - V_c$$

$$V_E = 1000 (0.830) - 112,9 = 717,1 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

- **Détermination du volume absolu de chaque granulat :**

- ✓ Volume absolu de sable carrière = $717,1 * 0,32 = 229,47\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (3/8) = $717,1 * 0,11 = 78,88\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (8/15) = $717,1 * 0,14 = 100,39\text{L}$
- ✓ Volume absolu de gravier (15/25) = $717,1 * 0,43 = 308,35\text{L}$

- **Dosage pondéral des granulats (pour 1 m3 de béton):**

- **Sable carrière :**

$$S = v_1 * \gamma_s$$

$$\text{Sable carrière : } 229,47 * 2,803 = 598,45 \text{ kg/m}^3$$

- **G (3/8) :**

$$G = v_2 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (3/8)} : 78,88 * 2,66 = 209,82 \text{ kg/m}^3$$

➤ **G (8/15) :**

$$G = v_3 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (8/15)} : 100,39 * 2,66 = 267,03 \text{ kg/m}^3$$

➤ **G (15/25) :**

$$G = v_4 * \gamma_G$$

$$\text{Gravier (15/25)} : 308,35 * 2,66 = 820,21 \text{ kg/m}^3$$

Masse pour 0.0252 m :

- Ciment : $350 * 0,0252 = 8,82 \text{ kg}$
- Eau : $175 * 0,0252 = 4,41 \text{ L}$
- Adjuvant super plastifiant masse (ciment) = **80.5ml**
- Sable carrière : $598,45 * 0,0252 = 15,08 \text{ Kg}$
- G (3/8) : $209,82 * 0,0252 = 5,28 \text{ Kg}$
- G (8/15) : $267,03 * 0,0252 = 6,72 \text{ Kg}$
- G (15/25) : $820,21 * 0,0252 = 20,66 \text{ Kg}$

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Forme des granulats (sable en particulier)						
Dosage en Ciment						
400 + <u>Fluidt</u>	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
→ 350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Note 1 : *Correction supplémentaire K_s* : Si le module de finesse du sable est fort (sable grossier), une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire sur K peut être effectuée en ajoutant la valeur $K_s = 6 Mf - 15$ (Mf étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2.5).

Note 2 : *Correction supplémentaire K_p* : Si la qualité du béton est précisée pompable, il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité courante. On pourra pour cela majorer le terme correcteur K de la valeur $K_p = +5$ à $+10$ selon le degré de plasticité désiré.

Valeur du terme correcteur K

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité						
		D = 4	D = 8	D = 12.5	D=20	D=31.5	D=50	D=80
Molle	Piquage.....	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible.....	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale.....	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
Plastique	Piquage.....	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible.....	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale.....	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissante.....	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
Ferme	Vibration faible.....	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale.....	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissante.....	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

NOTA (simplifié) :
Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés, sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :
Sable roulé et gravier concassé = - 0.01
Sable et gravier concassés = - 0.03

Pour des granulats légers on pourra diminuer de 0.03 les valeurs de γ qui correspondent dans ce tableau à des granulats denses ordinaires.

Valeur du coefficient de compacité

Reference Bibliographique

[01] : HAMDINI Djamel, Influence des réactifs sur l'enrichissement du minerai de phosphate de Djebel Onk par flottation inverse étagée, Mémoire de Master, université de béjaia (2014)

[02] : FERPHOS Rapport technique de l'exploitation de la carrière de Djebel El Onk plan d'exploitation préliminaire du gisement de Bir el Ater rapport interne.

[03] : Dumon R., Le phosphore et les composés phosphorés (propriétés-utilisations), Edition Masson, France, 1980

[04] : Françoise, Francis A., Les gisements de phosphate de Gafsa, Tunisie., Mars 2013.

[05] : Camille A., Les vertébrés fossiles des gisements de phosphate : Maroc, Algérie, Tunisie. Paris 1952.

[06] : Saadoun A., Caractérisation et enrichissement du minerai phosphaté de Djebel Onk (W. TEBESSA), Mémoire de master Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Minier, École Nationale Polytechnique Département de Génie Minier. 2010.

[07] : Boucif R, Tamourt M., Étude de stabilité du flanc Nord de la mines de Kef Esnnoun- Tébessa, Mémoire de master pour l'obtention du diplôme en Mines Option : Exploitation minière, Université Abed Erahmen Mira Bejaia, 2015.

[08] : DOUH CH, traitement de stériles minières de (kef-Esnnoun) aux liants hydraulique pour la couche de forme de chaussée, université de CHEIKH LARBI TEBESSI-Tébessa-, 2018page 7.8

[09] : Chabou-Mostefaï S., Étude de la série phosphatée tertiaire du Djebel Onk, Algérie, Stratigraphie, Pétrographie, Minéralogie et Analyse Statistique, Thèse Doctoral, Université droit, d'économie et des sciences d'AIX-MARSEILLE, 1987

[10] : BOUCIF R., TAMOURT M., 2015, Etude de stabilité du flanc Nord de la mine de Kef Esnnoun-Tébessa, Université ABDE RAHMANE-MIRA-Bejaia, 201 pages

[11] : Boudries A., Étude géologique et géostatistique de l'Uranium (U) dans le gisement de phosphate de Kef-Esnnoun (Algérie orientale), Mémoire pour l'obtention du diplôme de MAGISTER ; Option Recherche et Prospection des Ressources Minérales et Énergétiques. Université Badji Mokhtar-Annaba, 2008

[12]: Chavaillon. J, Étude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara Nord

Occidental- de Colomb-Béchar à Reggane -. Edition du CNRS, 394p Paris 1964

- [13] : SADHOURI, F, GOUFI, N, & GUEZZOULI, A. Valorisation de l'utilisation des sables concassés par analyse des propriétés des mortiers et des bétons. SBEIDCO-1st. In : International conférence on sustainable built environment infrastructures in developing countries, ENSET Oran(Alegria).2009.p.247-57
- [14]: Azouz Hocine : « étude des bétons à base des sables de dune », Mémoire de Magister Université Mohamed kheider, biskra, 2009.
- [15] : REZIG Salima : « Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux », Université Mohamed Khider,Biskra.
- [16] : Philippe Chevalier Jean-Christophe Van den Schrieck : « Le sable naturel en Région Wallonne », Août2011.
- [17] : TAFRAOUI Ahmed : « Contribution à la valorisation du sable de dune de l'erg occidental, (Algérie). Application aux nouveaux bétons »,THESE DE DOCTORAT, Université de Toulouse,2009.
- [18] : Chalhi, Med. Moussaoui, Med. M : «Valorisation des granulats disponibles dans le sud de Bechar ». Projet fin étude. Université de Béchar; Béchar.
- [19] :Société des mines de phosphates SOMIPHOSSpa.FilialedugroupeMANAL.Complexeminier de djebel Onk.DED.
- [20] : DUPAIN, R; LANCHON, R ; ARROMAN, J.-C.Saint. Granulats sols, ciments et bétons: Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. 3 ème Ed. Paris :Casteilla, aout 2004.236p.
- [21]: HABIB ,Pierre .Génie géotechnique :Applications delamécanique dessolsetdesroches. Paris: Ellipses, novembre 1997.222p..
- [22] : PLUMELLE, Claude.*Théorie et pratique de la géotechnique*. Paris: Le Moniteur, avril 2013.999p.
- [23] : Chanvillard et d'Aloia : « Prévion de la résistance en compression au jeune âge du béton, Application de la méthode du temps équivalent, Bull. Liaison Lab. Ponts et Ch. »,1994.
- [24] : BOUKLI HACENE Sidi Mohammed El Amine: « CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA RESISTANCE CARACTERISTIQUE DES BETONS DE LA REGION DE

TLEMCEN », Thèse de Doctorat à L'université aboubekr belkaid, tlemcen, 2009.

[25] : ANDRIAMANANSTILAVO.N: «Comportement des matériaux cimentaires dans un coffrage expérimentation, modélisation et simulation de la poussée et du processus de maturation ». Thèse de doctorat à l'Université de boumerdes, 2003.

[26] : NF EN 197-1 : Ciment - Composition, spécification et critères de conformité des ciment courants indice de classement P 15-101-1.

[27] : Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.

[28] : G. DREUX & J. FESTA : « Nouveau guide du béton et ses constituants », Edition Eyrolles, 8eme édition, 1998.

[29] : Norme Française XP P 18-540 : Granulats - Définitions, conformité, spécifications, indice de classement: P 15-540, 1997.

[30] : R. DUPAIN, R. LANCHAN & J.-C. SAINT-ARROMAN : « Granulats, Sols, Ciments et Bétons », Editions Casteilla, 2ème édition conforme aux normes européennes, 2000.

[31] : F. GABRYSIK : « Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2 », Académie de Nancy-Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/. P 7.

[32] : Norme Française EN 933-3 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 3 : Détermination de la forme des granulats – Coefficient d'aplatissement", indice de classement P18-622, AFNOR 1996.

[33] : EN 1097-3 : granulat, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 3 : Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire, indice de classement : P 18-650-3, version française,p 6, 1998.

[34] : EN 1097-6 : granulat Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 indice de classement : P 18-650-6, 1998.

[35] : A. M. NEVILLE : « Propriétés des bétons », traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 2000.

[36] : Rappel sur les granulats : « Cours Géomatériaux », (alonet.yolasite.com).

[37] : F. GABRYSIK : « Matériaux - Les Granulats - Chapitre 2 », Académie de Nancy- Metz, http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/Batiment_Pro/. P 7.

- [38] : Norme Française P 18-577 : Granulats - Essai Micro-Deval, AFNOR, 1990.
- [39] : Norme Française EN 1097-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1: Détermination de la résistance à l'usure (Micro-Deval), indice de classement P 18-650.1, AFNOR, 1996.
- [40] : Norme Française XP P 18-573 : Granulats - Essai Los-Angeles, AFNOR, 1990.
- [41] : NF EN 1097-2 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 : Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation, indice de classement : P 18-650-2, AFNOR, 1998.
- [42] : Dupain .R et Lanchon .R : « Granulats, sols, ciment et bétons » paris : Ed livre, 276 p.
- [43] : Cormon .P : « Bétons légers d'aujourd'hui », Ed .Eyrolles au radiateur .Editions du BRGM, 1973.
- [44] : Chanvillard. G et Laplante .P : « Viser une résistance à court terme pour tenir les délais de fabrication ». Les béton bases et données pour leur formulation, 1997.
- [45] : Aitcin .P.C et Baron .J : « Bétons haute performance », Ed. Eyrolles, 1996.
- [46] : 02- S-Laldji.Cours ETS. Caractéristiques fondamentales du béton : hiver 2015.
- [47] : Bresson .J : « Prévision des résistances », paris, tech batim. Trav. public, 387 p, 1980.
- [48] : Mr BOUFEDAH BADISSI Ahmed : « influence da la granularité classe granulaire 4/22. Syr les caractéristiques des granulats et sur les propriétés des bétons ordinaire »,Mémoire de Magister, université Mentouri Constantine, 2011.
- [49] : VENANT.M : « Ciment et bétons. » 2ème édition, 1973.
- [50] : COLLECTION TECHNIQUE CIMBETON.LES Béton : formulation, fabrication et mise en œuvre. Tome2. Centre d'information sur le ciment et ses applications (France).CIM béton, 2005, p.36-94.
- [51] : Norme expérimentale : béton, Auscultation Sonique, AFNOR, Décembre 1989
- [52] : BARON J., OLLIVIER J.P : « Les bétons bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles, 522 p, Paris, 1996.
- [53] : BEKKAI Nabil : « TD Dreux Gorisse », cours académique, P 13

La norme française [NF EN 196-3] : l'analyse physique des ciments

La norme Algérienne [NA 231] : Les masses volumiques absolue du ciment

La norme française [NF EN 196-1] : Les caractéristiques mécaniques du ciment

La norme française [NF EN 933-1] : l'analyse granulométrique des granulats

La norme européenne [EN 1097-6] : Les caractéristiques physiques des graviers

La norme européenne [EN 1097-1] : Les caractéristiques mécaniques des graviers

La norme française [NF P 18- 418] : Essais non destructif par Auscultation sonique (Ultra Son)

La norme française [NF-EN12390-3] : Béton-La résistance à la compression

La norme française [NF EN 1290-5] : Béton-La résistance à la flexion

La norme Française [EN 1097-1] : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1: Détermination de la résistance à l'usure (Micro-Deval), indice de classement P 18-650.1, AFNOR, 1996.

La norme Française [XP P 18-573] : Granulats - Essai Los-Angeles, AFNOR, 1990.