

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Génie civile



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Génie civile
Spécialité : Structure
Thème

Valorisation des déchets du marbre et du verre dans la réalisation des ouvrages en Béton Auto plaçant.

Présenté Par :

- 1) BENZAMA DJIHAD
- 2) BEN MANSOUR CHAHINEZ

Devant le jury composé de :

Dr. GUELLIL M Président	MAA	UAT.B.B (Ain Temouchent)
Dr. KAMECHE Z Examineur	M C B	MUAT.B.B (Ain Temouchent)
Dr. MAROUF HAFIDA Encadrante	M C A	UAT.B.B (Ain Temouchent)
Dr. ABDESLAM RABHA Co-Encadrante	M A A	UAT.B.B (Ain Temouchent)

Année universitaire 2020/2021

Résumé

De nos jours, nous assistons à une grande pénurie de matières premières pour la fabrication des composants du béton, ainsi qu'à l'accumulation d'un grand nombre de déchets, c'est pourquoi nous avons décidé de les éliminer en les utilisant comme substitut aux éléments du béton. Dans notre étude on a utilisé le déchet du marbre comme un substitut dans le ciment et le déchet du verre dans le sable afin de fabriquer le BAP. Les chercheurs ont mené une étude en laboratoire visant à étudier les propriétés du béton contenant différents pourcentages (0, 5, 25 %) de poudre de marbre en remplacement partiel du poids de ciment. Les tests suivants ont été réalisés : résistance à la compression, et vitesse des ultrasons à l'âge de 28 jours de traitement. Les résultats du laboratoire ont montré qu'une augmentation de 5% de poudre de marbre en remplacement partiel du ciment conduit à une amélioration des propriétés du béton dur. Où le pourcentage d'augmentation de la résistance à la compression du béton est d'environ 3% par rapport au mélange de référence, tandis que les propriétés du béton se détériorent en ajoutant des pourcentages plus élevés.

Après l'étude que nous avons menée, le laboratoire et les résultats obtenus nous ont montré que le choix de 5% de marbre et de verre était satisfaisant comparé avec les autres pourcentages.

Mots clé : Béton ,matières premières, déchets, marbre , verre, Béton Auto placent

Abstract

Nowadays, we are witnessing a great shortage of raw materials for the manufacture of concrete compounds, as well as the accumulation of a large number of wastes, which is why we have decided to eliminate them by using them as substitute for concrete elements. In our study we used the marble waste as a substitution in the cement and the glass waste in the sand to make the self-casting concrete . The researchers conducted a laboratory study to study the properties of concrete containing different percentages (0, 5 , 25%) of marble powder partially replacing the weight of cement. The following tests were carried out: compressive strength, and ultrasound speed at the age of 28 days of treatment. Laboratory results have shown that a 5% increase in marble powder by partial replacement of cement leads to an improvement in the properties of hard concrete. Where the percentage increase in the compressive strength of concrete is about 3% over the reference mix, while the properties of concrete deteriorate by adding higher percentages. After the study we presented, the laboratory and the results obtained showed us that the choice of 5% of marble and glass was better than the other ratios.

Key words: concrete, raw materials, waste, marble, glass. self-casting concrete

ملخص

نشهد اليوم نقصا كبيرا في المواد الأولية لتصنيع المركبات الخرسانية ، فضلا عن تراكم عدد كبير من المخلفات ، ولهذا قررنا التخلص منها باستخدامها كبديل للعناصر الخرسانية. في دراستنا استخدمنا مخلفات الرخام كبديل في الأسمنت ومخلفات الزجاج في الرمل لصنع الخرسانة ذاتية الصب وأجرى الباحثون دراسة معملية لدراسة خصائص الخرسانة التي تحتوي على نسب مختلفة (0 ، 5 ، 25%) من مسحوق الرخام يحل جزئيا محل وزن الأسمنت. تم إجراء الاختبارات التالية: قوة الضغط ، وسرعة الموجات فوق الصوتية في عمر 28 يوماً من العلاج. أظهرت النتائج المعملية أن زيادة مسحوق الرخام بنسبة 5% كبديل جزئي للأسمنت تؤدي إلى تحسين خواص الخرسانة الصلبة. حيث تبلغ نسبة الزيادة في مقاومة الانضغاط للخرسانة حوالي 3% عن الخلطة المرجعية ، بينما تتدهور خصائص الخرسانة بإضافة نسب أعلى..

بعد الدراسة التي قدمناها، أظهر لنا المختبر والنتائج التي تم الحصول عليها أننا نختار 5% من الرخام والزجاج كان الأفضل من النسب الأخرى .

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ، مواد أولية ، نفايات ، زجاج ، رخام . الخرسانة ذاتية الصب

Remerciement

Tout d'abord nous commencerons par remercier dieu tout puissant, de nous avoir donné le courage, l'optimisme et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du jury qui nous ont honorés de bien vouloir accepter de faire part de ce jury, et nous auront généreusement fait part de leurs remarques qui serviront à perfectionner ce travail.

Nous voudrions également remercier notre encadreur Madame MAROUF HAFIDA ainsi le Co-encadreur Madame ABDESLAM RABHA, qui nous ont fait confiance en acceptant de nous encadrer sur ce sujet, nous eux sommes très reconnaissant de l'opportunité qu'ils nous ont donnée.

Nous voudrions exprimer notre gratitude pour toute l'aide apportée, envers toute l'équipe du laboratoire de Génie Civil, Université BELHADJ BOUCHAIB d'Ain Témouchent, que nous avons côtoyé quotidiennement.

Nous tenons aussi à remercier vivement le directeur du laboratoire de contrôle de Béton et Génie Civil monsieur LAGHA SID-AHMED, et remercier notre camarade BOUKHAFI HATEM, HADJ KADOUR SAID, BENDRA ZAKARIA, et BEN KHALFOUN ISSAM ELDINE aides et efforts qui nous ont fournis afin de mettre à terme ce travail.

Dédicace

Je suis très heureuse de pouvoir dédier cet humble travail à tous qui me sont plus chers :

À mon soutien moral, mon exemple éternel, source de joie et de motivation, à celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir grandir et réussir, que dieu te garde et te protège mon très cher papa

À la flamme de mon cœur, la lumière de mes jours, la source de mes efforts, à ma très chère maman qui croit en moi et me soutient dans le bonheur comme dans la douleur, qui me comprend mieux que quiconque.

*À celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce Projet, par ces conseils, aides, et encouragements, à mon âme frère
« MOUAD »*

*A la source de mon sourire, la joie de ma vie, à mon petit frère
« HOUARI »*

A mes chères sœurs WAFAA, KAOUTAR, WISSEM.

A ma cher grande mères que dieu la garde.

À mes grands-pères et ma grande mère que le bon dieu accueille dans son paradis.

À ma cher sœur « IMEN », je te suis très reconnaissante, pour ton aide Précieuse, tes conseils et encouragements, merci d'être l'épaule sur Laquelle je peux toujours compter.

A mes cher copines NESRINE et ZAHRA.

À mon binôme BEN MANSOUR CHAHINEZ

À tous mes enseignants durant les années des études.

À tous mes collègues de la promotion 2020/2021 spécialité génie civil.

À tous ceux qui, directement ou indirectement ont contribué à la réalisation et l'achèvement de ce travail.

BENZAMA DJIHAD

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à :

A ma chère mère Hafida et mon père Saïd qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin avec leurs conseils judicieux que Dieu les protège

A ma sœur et ma source de bonheur « Imane »

A MON FRÈRE la source de mon sourire « MOHAMED EL AMINE . »

A mon fiancé « Amine » et ses précieux conseils pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

A tous les membres de La famille Ben Mansour et Ghitri

A mes cousines Hadjer ,Nada ,Hidayat ,Bouchra ,Ahlem

A mon 2 Amours SIF el Dine Et Mohamed Ali Rayen .

A mes chères amis Meriem, Zoubida ,Nadira .

À mon binôme BENZAMA DJIHAD

À tous mes enseignants durant les années des études.

À tous mes collègues de la promotion 2020/2021 de spécialité génie .civil.

Et pour tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

BEN MANSOUR CHAHINEZ

Sommaire

Introduction Générale.....	1
Introduction Générale.....	2
Chapitre I.....	3
Généralités sur les bétons (BAP)	3
I -1-Introduction	3
I -2-Généralité sur les bétons	3
I -3-Histoire du béton	3
I -4-Les différents types de béton.....	4
I -4-1-Béton ordinaire	4
I -4-2-Le béton léger	4
I -4-3-Le béton lourd.....	4
I -4-4-Le béton auto plaçant.....	4
I -4-5-Le béton fibré.....	5
I -4-6-Les bétons hautes performances	5
I -4-7-Béton armé (BA)	5
I -5-Historique du BAP	5
I -6-NOTIONS SUR LES BETONS AUTOPLAÇANTS	5
I -6-1-Définition.....	5
I -6-2-Comparaison entre un béton ordinaire et un BAP	6
I -7-Caractéristiques du BAP	6
I -8-Avantages et inconvénient des bétons auto-plaçant	7
I -8-1 Avantages.....	7
I -8-2-Inconvénients.....	7
I -9-La formulation des BAP fait appel à	7
I -10-Les quatre principes fondamentaux.....	8
I -11- conclusion.....	8
Chapitre II	10
II-1-Introduction.....	9
II-2-Les déchets en Génie Civil :	9
II-2-1-Déchets de construction et de démolition.....	9
II-2-2-Le Plastique	10
II-2-3-Le déchet du marbre	10
II-2-4-Le verre.....	11
II-2-5-La vase des barrages.....	11
II-2-6-déchets d'activités économiques (DAE)	12
II-2-6-1-Les déchets du BTP.....	12
II-2-7-Déchet industriel banal (DIB)	15
II-2-8-Les déchets d'emballages.....	15
II-2-9-Déchet Toxique en Quantités Dispersées (DTQD)	15
II-3- le marbre	16

II-3-1-Histoire du marbre.....	16
II-3-2- L'origine du marbre	16
II-3-3-Définition de marbre	16
II-3-4-Le marbre est fragile.....	16
II-3-5-Le marbre résisté au feu	17
II-3-6-La dureté du marbre	17
II-3-7-Le déchets de marbre (la poudre) à la place de ciment	17
II-4- le verre	17
II-4-1-Histoire de verre	17
II-4-2- L'origine du verre	17
II-4-3-La matière première du verre	17
II-4-4-La famille du verre	18
II-4-6-Le déchet verre (la poudre) a la place de sable	18
II-4-7-1-Définition de poudre de verre	18
II-5-CONCLUSION	18
Chapitre III	21
III -1-Introduction	19
III-2-Le ciment	19
III-2-1-Histoire de ciment	20
III-2-2- l'origine du ciment.....	20
III-2-3- les composants du ciment	20
III-2-4- le rôle du gypse dans le ciment	20
III-2-5-fabrication de ciment.....	20
III-2-6-Catégories et types de ciment.....	21
III-2-9-Caractéristiques physiques de ciment	21
III-3-Les granulats	22
III-3-1-Les sables	22
III-3-1-1-Il en existe deux types: naturel et artificiels	22
III-3-2-Les gravier.....	23
III-3-2-1- fabrication de gravier	23
III-3-2-2-Caractéristiques physiques des granulats	23
III-3-3-L'analyse granulométrique par tamisage.....	23
III-3-3-1- introduction	23
III-3-3-2- But de l'essai Analyse granulométrique.....	24
III-3-3-3-Principe de l'essai analyse granulométrique	24
III-3-3-4-Classe granulaire	24
III-3-3-5-. Traçage de la courbe granulométrique	24
III-3-3-6-Calcul des coefficients d'uniformité (Cu).....	25
III-3-3-7- Le coefficient de classement ou de courbure (Cc)	25
III-3-3-8-Module de finesse.....	25
III-3-3-9-La correction des sables	26
III-3-4-Les Analyse s granulométriques	26
III-3-4-1-mode Opérateur.....	26
III-3-5-La masse volumique apparente	26

III-3-5-1-DÉFINITION	27
III-3-5-2-Le but.....	27
III-3-5-3-Mode opératoire	27
III-3-6-La masse volumique absolue	27
III-3-6-1-Mode opératoire	27
III-3-7-Teneur en eau	28
III-3-8-Foisonnement du sable.....	28
III-3-8-1Principe	28
III-3-8-2L'objectif	28
III-3-9-L'eau	28
III-3-9-1- Le rôle de l'eau dans le béton	28
III-3-10-Filler Calcaire.....	29
III-3-11-adjuvant.....	29
III-3-11-1-super plastifiant	29
III-4-Voici La formulation de BAP pour 1m ³	31
III-4-1-La méthode pour calculer les quantités des matériaux	31
III-4-2-Mode de malaxage	33
III-5-Les essais à l'état frais	34
III-5-1-essai de cône d'Abrams.....	34
III-5-1-1-le principe de l'essai	34
III-5-1-2-Le but de l'essai.....	34
III-5-1-3-Mode opératoire	34
III-5-1-5-L'essai de la stabilité au tamis.....	35
III-6-Les essais à état durci	36
III-6-1-Essais destructif	36
III-6-2-Essais non destructifs	37
III-6-3-But d'utilisation	37
III-6-4-Principaux domaines d'application.....	37
III-6-5-Essai d'absorption d'eau	37
III-6-5-1-Matériel	37
III-6-5-2-Matériaux utilisés	37
III-6-5-3-Mode opératoire	37
III-6-6-Essai de scléromètre.....	39
III-6-7-Essai d'ultrason	39
III-6-8-essai de résistance	40
III-6-8-1-Mode opératoire	40
II-7-conclusion	40
Chapitre IV	54
Résultats et interprétations	54
IV-1- Introduction	41
IV-2-Les résultats des essais à état frais.....	41
IV-2-1- Analyse granulométrique.....	41
IV-2-1-1-Les résultats de module de finesse du sable de mer.....	41
IV-2-1-4-La correction des sables	45

IV-2-1-5-analyse granulométrique de GRAVIER 3 /8.....	45
IV-2-1-6-analyse granulométrique de GRAVIE 8 /16	46
IV-2-3-Teneur en eau.....	48
IV-2-3-1-Pour le sable de mer	48
IV-2-3-2-Pour le sable de carrier	48
IV-2-4-essai de foisonnement du sable de mer	48
IV-2-4-1- Tableau des résultats	48
IV-2-5-résultats de cône d'Abrams.....	49
IV-2-6-résultats de stabilité au tamis	49
IV-3- Les résultats à état durci	50
IV-3-1-résultats de l'essai d'absorption d'eau	50
IV-3-1-1-l'interprétation de l'essai absorption d'eau	50
IV-3-2-résultats de l'essai scléromètre	51
IV-3-2-1-Interprétation de résultats	51
IV-3-3-résultats de l'essai d'ultrason	51
IV-3-3-1-Interprétation des résultats	52
IV-3-4-résultats de l'essai de résistance.....	52
IV-3-4-1-Interprétation des résultats	53
IV-4-Conclusion.....	54
Conclusion générale	55
Référence des figures	59
Les normes	60

Liste des figures

<i>Figure-I- 1: Composition s'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un (BO) et d'un (BAP).....</i>	<i>6</i>
<i>Figure-II- 1:Déchets de construction et de démolition.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure-II- 2:Le déchet de marbre</i>	<i>10</i>
<i>Figure-II- 3: Le Verre</i>	<i>11</i>
<i>Figure-II- 4: Déchet dangereux sur le chantier.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure-II- 5:Les déchets inertes[2].....</i>	<i>14</i>
<i>Figure-II- 6: Déchets non dangereux[3]</i>	<i>14</i>
<i>Figure-II- 7: Déchets non dangereux[4]</i>	<i>15</i>
<i>Figure-II- 8: Les déchets d'emballages[5]</i>	<i>15</i>
<i>Figure-II- 9: Déchet Toxique en Quantités[6].....</i>	<i>16</i>
<i>Figure-III- 1: Sac de ciment BENISAF</i>	<i>20</i>
<i>Figure-III- 2: Filler calcaire.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure-III- 3: Marbre passant par un tamis 0,08mm.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure-III- 4: : Le verre passant par tamis 3mm</i>	<i>30</i>
<i>Figure-III- 5: Préparation des matériaux.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure-III- 6: Préparation des moules.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure-III-7: Les éprouvettes après 24h</i>	<i>33</i>
<i>Figure-III- 8: L'essai de l'étalement.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure-III- 9: : Schéma de l'essai de stabilité[7]</i>	<i>36</i>
<i>Figure-III- 10: Essai d'absorption d'eau.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure-III- 11: Essai de scléromètre.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure-III- 12: Essai de résistance à la compression</i>	<i>40</i>
<i>Figure-IV- 1: Analyse granulométrique de sable de mer</i>	<i>42</i>
<i>Figure-IV- 2: Analyse granulométrie du sable de carrière</i>	<i>43</i>
<i>Figure-IV- 3: Analyse granulométrique de verre</i>	<i>45</i>
<i>Figure-IV- 4: Analyse granulométrique de gravier 3/8.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure-IV- 5: : Analyse granulométrique de gravier 8/16.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure-IV- 6: Foisonnement du sable</i>	<i>48</i>
<i>Figure-IV- 7: Courbe de l'essai d'absorption d'eau</i>	<i>50</i>
<i>Figure-IV- 8: Histogramme présente les contraintes de l'essai scléromètre</i>	<i>51</i>
<i>Figure-IV- 9: Histogramme de l'essai ultrason</i>	<i>52</i>
<i>Figure-IV- 10: Courbe de résistance à la compression après 28 et 60 jours.....</i>	<i>53</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1:les constituants principaux autres que clinker doivent être déclarés dans désignation du ciment.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 2:caractéristiques physiques du ciment</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 3:Classe d'étalement.....</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 4: Classement d'essai stabilité au tamis.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 5: Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 6:Analyse granulométrique du sable de mer</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 7: Analyse granulométrique du sable de carrière.....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 8:Analyse granulométrique de verre.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 9:Analyse granulométrique de gravier 3/8</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 10 : Analyse granulométrique de gravier 8/16</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 11:Foisonnement du sable de mer</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 12: résultats d'étalement cône d'Abrams</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 13: Résultats stabilité au tamis</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 14:Les valeurs de coefficient d'absorption capillaire</i>	<i>50</i>
<i>Tableau 15: les résultats de l'essai scléromètre</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 16: Résultats de l'essai d'ultrason.....</i>	<i>51</i>
<i>Tableau 17: les résultats de résistance à la compression après 28 et 60 jours.....</i>	<i>53</i>

Les symboles

Cu : coefficient d'uniformité

Cc : Le coefficient de classement ou de courbure

Mf : le module de finesse

M_{fs} : le module de finesse du sable
M_{fv} : le module de finesse du verre
MF : le module de finesse corrigée
F : Foisonnement du sable
M : la masse de échenillant
ρ : la masse volumique
V : volume de récipient
W : La teneur en eau
M_h : poids des granulats humides.
M_s : poids des granulats secs.
E_s : équivalent de sable
E_{sv} : équivalent de sable à vue
h₁ : Mesure de l'ensemble sable plus flocculat
h₂: Mesure à vue la hauteur du sable
M(vappo) :Masse volumique apparente du granulat sec
M(vappw) : Masse volumique apparente minimale du sable remanié
ρ (abs) : La masse volumique absolue
V₁ : volume 1
V₂ :volume2
V_e : volume d'éprouvette
P : pourcentage de laitance
C_a : Le coefficient d'absorption capillaire
M_x : la masse initiale de l'éprouvette à une échéance donnée
M₀ : la masse initiale de l'éprouvette
A : la section de l'éprouvette
E/C : rapport eau / ciment.
G/S : rapport gravier / sable.
D : est le diamètre du plus gros granulat

Introduction Générale

Introduction Générale

Devant la pénurie des gisements et matériaux de constructions et avec l'augmentation de la croissance économique, l'augmentation de la population et l'expansion des zones urbaines, les villes ont été délimitées, et le besoin de construction, d'urbanisation et de construction de nouveaux bâtiments a augmenté, ce qui a conduit à une augmentation significative de l'utilisation de béton, car l'utilisation du béton est estimée à environ 30 milliards de tonnes par an dans le monde. Il joue un rôle important dans le développement de l'économie d'une nation. Cependant, cette augmentation de la demande d'utilisation et de production de béton s'accompagne d'une pénurie de matières premières de qualité limitée sur nos terres. L'industrie du béton consomme une grande quantité de matières premières naturelles et cela a un impact direct sur l'environnement, la consommation d'énergies l'économie.

Devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous produits industriels notamment dans le domaine de génie civil. Les contraintes d'ordre économique et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage des déchets. Le besoin universel de conserver les ressources, de protéger l'environnement et de bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie du béton. Par conséquent, on accordera beaucoup d'importance à l'usage de déchets et de sousproduits pour la fabrication du ciment et du béton. L'objectif de cette étude est de contribuer à la l'utilisation des déchets de marbre dans le béton hydraulique. Cela permet d'éliminer les déchets par recyclage et utilisation d'où la protection de l'environnement, et aide à résoudre certains problèmes liés au manque de granulats.

L'objectif de cette étude est la valorisation des déchets de marbre comme une substitution dans le ciment et de verre comme une substitution, dans le sable en tant qu'addition minérale dans un Béton Auto Plaçant (BAP) économique. Il s'agit de mettre en évidence l'influence de ces déchets sur le comportement du BAP à l'état frais tout en se référant à un béton Auto Plaçant Témoin (BAPT), ainsi que les résistances mécaniques à l'état durci et de faire une comparaison avec celles d'un Béton auto plaçant témoins (BAPT). Les résultats conduits sur les BAP frais en utilisant les essais d'étalement (cône d'Abram), et de stabilité au tamis montrent que l'ajout des déchets de marbre et de verre donne une fluidité et une résistance à la ségrégation satisfaisante des BAP étudiés et leurs valeurs s'approchent de celles du BAPT. Les performances mécaniques des bétons sont étudiées à partir des essais de compression simple et de traction par fendage sur des éprouvettes cylindriques (16cmx32cm) pour des âges de 7 et 28 jours.

Notre travail est repartait comme suit

Dans le chapitre 1 parler sur généralités de béton et les différents types de béton ainsi que on a plus détaillé le béton auto plaçant, ses principaux constituants aussi leur caractérisations à l'état frais et durci.

Le chapitre II donne une recherche bibliographique (aperçu général) qui comporte une synthèse bibliographique sur les déchets dans le béton et les types des déchets tel que les déchets (marbre, verre, plastique...etc.).

Le chapitre 3, consacré à l'étude expérimentale, le chapitre 3 présente les caractéristiques des matériaux utilisés (composition minéralogique, composition chimique et propriété physique) pour le ciment, sable, gravier, adjuvant, les additions minérales et les fibres et les essais sur matériaux utilisés (Analyse granulométrique, Equivalent de sable et la masse volumique apparents et la masse volumique absolue,...etc).

Dans le chapitre VI, nous présentons les résultats obtenus pour la résistance à la compression, l'indice sclérotique et la vitesse du son. L'analyse de ces résultats.

Chapitre I

Généralités sur les bétons (BAP)

I -1-Introduction

Les BAP doivent présenter une grande fluidité et pouvoir s'écouler sous leur propre poids avec un débit suffisant sans apport d'énergie externe (sans vibration) à travers des zones confinées (armatures, coffrages de formes complexes) en présence d'obstacles et se mettre en place dans des coffrages de grande hauteur [9].

La vibration du béton a pour but de faciliter son écoulement et par conséquent le remplissage correct des coffrages, chasser l'air emprisonné et communiquer au béton une plus grande compacité et par conséquent une meilleure résistance mécanique et une durabilité accrue [10]. Ils doivent être stables sous l'effet de la gravité au cours de l'écoulement et dans les phases précédant la prise et le durcissement et aussi pouvoir être mis en œuvre par pompage [1].

Le principe de formulation vise à réduire le seuil de cisaillement du béton en lui conservant une viscosité suffisante pour éviter tout risque de ségrégation et de ressuage [1].

Formuler un BAP consiste donc à concilier des propriétés a priori contradictoires : fluidité, stabilité, résistance à la ségrégation « dynamique » (cheminement dans des zones ferrillées) et à la ségrégation « statique » (pas de ressuage, pas de tassement) une fois le béton en place (la suspension des divers grains qui le constituent doit rester homogène jusqu'à la prise du matériau) [9].

En effet, contrairement au béton ordinaire (BO), les BAP sont extrêmement fluides et leur mise en œuvre ne nécessite pas une vibration. Cette propriété facilite le coulage des BAP dans des coffrages très ferrillés ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles [10].

I -2-Généralité sur les bétons

Le béton est le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de la construction et du bâtiment, malgré sa complexité. Il contient habituellement un mélange de ciment, d'eau et des granulats, mais il est considéré comme homogène. Non seulement, il peut être moulé dans les formes les plus diverses (coupole, voûte et des éléments avec des formes compliquées), mais aussi une excellente résistance à la compression et une grande rigidité [1].

Avec les nouveaux moyens technologiques, la famille des bétons est en constante évolution. Le béton est un matériau dont la composition peut évoluer. On peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances recherchées. En répondant aux normes de sécurité et s'adaptant aux envies des hommes, le béton, sous ses différentes formes, répond à nos besoins.

I -3-Histoire du béton

Aux barques en béton (1848) de Joseph-Louis Lambot (1814-1887) et aux caisses à fleurs (1849) de Joseph Monier (1823-1906) succèdent les réalisations d'entrepreneurs qui développent des « systèmes » de béton armé : François Coignet (1814-1888), qui met au point

Le béton aggloméré ; Monier, dont les brevets de 1877 et 1878 seront exploités en Allemagne ; François Hennebique (1842-1921), dont la société construira plus de 7 000 ouvrages, parmi lesquels le siège de cette dernière au 1, rue Danton (1900) à Paris et la villa de l'architecte à Bourg-la-Reine (1903) sont des exemples encore existants ; Armand Considère (1841-1914), qui invente le béton fretté (1901)... En 1906, cette première phase prend fin avec la publication des instructions relatives à l'emploi du béton armé, véritable premier règlement français de calcul des structures en béton armé. Au XXe siècle, c'est l'invention du béton précontraint par Eugène Freyssinet (1879-1962) qui ouvrira de nouveaux horizons au matériau béton. La précontrainte, qui consiste à garder le béton dans un état comprimé grâce à des câbles en acier tendus, permet d'atteindre de grandes portées avec du béton et a trouvé, notamment, son application dans les ponts. Depuis lors, les progrès dans les sciences des matériaux ont permis d'améliorer encore de manière spectaculaire les propriétés des bétons [2].

I -4- Les différents types de béton

I -4-1- Béton ordinaire

Appelés aussi bétons vibrés, bétons courants ou encore bétons traditionnels, ils sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2500 kg/m³ environ. Ils peuvent être armés ou non [3].

I -4-2- Le béton léger

Composé de granulats de faible densité, utilisation éventuelle d'adjuvants entraîneurs d'air. Ce béton est jusqu'à 25 % plus léger que le béton conventionnel grâce à l'utilisation de billes de styromousse, de colcrete ou de zonalité.. Il est surtout utilisé comme isolant thermique et sonore pour les toitures, comme couche de nivellement pour les planchers et les toits ainsi que pour les murs coupe-feu [4].

I -4-3- Le béton lourd

Composé de granulats de densité élevée (plomb, magnétite, hématite). Les bétons lourds dont la masse volumique peut atteindre les 6000 kg/m³ sont utilisés pour les ouvrages hydrauliques là où il faut empêcher la perméabilité de l'eau [5].

I -4-4- Le béton auto plaçant

Utile dans les endroits difficiles d'accès, les coffrages complexes ou comportant une forte densité d'armature d'acier, ce béton très fluide se place tout seul sous l'effet de la gravité. En plus d'assurer un étalement pouvant atteindre 750 mm, il possède une cohésion suffisante pour combler presque tous les types d'espace sans ségrégation ni ressuage [6].

I -4-5-Le béton fibré

Ce sont des bétons dans lesquels sont incorporées des fibres synthétiques, métalliques ou naturelles. Ces dernières renforcent le béton comme dans le cas d'un béton armé. Ils permettent une mise en œuvre plus rapide et plus facile du fait de la suppression de la mise en place du ferrailage, ainsi que la limitation de la fissuration grâce aux fibres dispersées dans le composite, c'est le cas des chapes renforcées de treillis ou de fibres métalliques [7].

I -4-6-Les bétons hautes performances

Est un mélange de béton, qui possède une grande durabilité et une résistance élevée par rapport au béton traditionnel. Ce béton contient des additions minérales comme les cendres volantes, laitiers de haut fourneau, fumée de silice et habituellement un super plastifiant. Le terme « haute performance » est un peu particulier parce que la caractéristique essentielle de ce béton, c'est qu'il faut que les ingrédients et les dosages soient spécifiquement choisis de manière à avoir des propriétés particulièrement appropriées pour l'utilisation prévue dans la structure avec une résistance élevée et une faible perméabilité [8].

I -4-7-Béton armé (BA)

Le béton armé associe intimement un béton avec des armatures métalliques pour obtenir un matériau qui cumule les qualités de résistance en compression et en traction. Il allie la résistance à la compression du béton à la résistance à la traction de l'acier. Le choix des éléments d'armature, leur ancrage et leur répartition dans le béton est capitale. Un enrobage soigné des armatures est nécessaire pour les préserver des phénomènes d'oxydation [2].

I -5-Historique du BAP

En France, les premières applications des bétons auto plaçant datent de 1995. Après une phase de recherche et dix années de développement régulier, les BAP ont été progressivement testés et adoptés par les entreprises et par les usines de préfabrication pour la réalisation de bâtiments ou de structure de génie civil. Les nombreux chantiers de bâtiment (immeubles, hôpitaux et lycées réalisés en BAP) ont permis de confirmer les performances de ces nouveaux bétons et de valider les techniques de mise en œuvre [11].

I -6-NOTIONS SUR LES BETONS AUTOPLAÇANTS

I -6-1-Définition

Les béton auto plaçant dite BAP, sont des bétons très fluides en éco (BAP) culement, homogènes et stables, et se mettent en œuvre sans vibration ce qui constitue un grand avantage pour la réalisation de la construction.

la formulation optimale d'un béton auto plaçant répondant aux critères rhéologiques et mécaniques.. Volume des gravillons est limité en prenant le rapport G/S égale à 1. Volume de la pâte varie entre : 330 à 400 l/m³ (C+F)

(C= ciment ; F= élément fins).

I-6-2-Comparaison entre un béton ordinaire et un BAP

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leur importante fluidité qui est une caractéristique tant recherchée dans le domaine de la construction afin de faciliter la mise en œuvre du béton sur les chantiers. Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des bétons ordinaires.

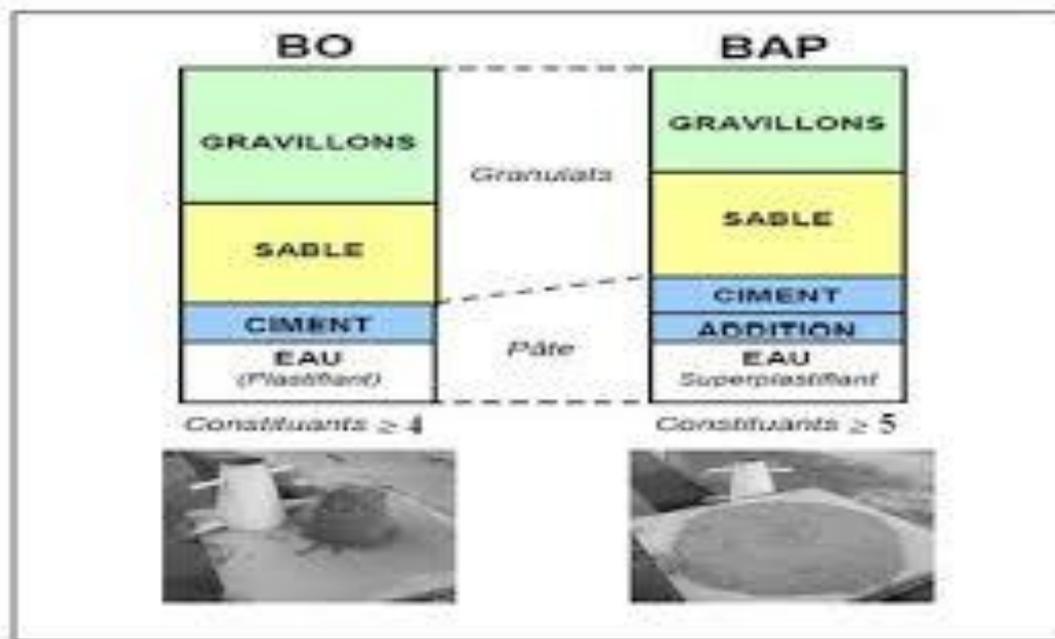


Figure-I- 1: Composition s'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un (BO) et d'un (BAP)

I-7-Caractéristiques du BAP

Un béton auto plaçant (BAP) permet de remplir des coffrages dont la complexité de forme ou la densité en ferrailage n'aurait pu être imaginée dans le cas d'un béton ordinaire. Pour cela, les BAP doivent avoir des propriétés à l'état frais bien déterminées à savoir :

- **La Fluidité** : Elle est déterminée à l'aide de l'essai d'étalement cône D'Abram.
- **La capacité de remplissage** : elle est déterminée à l'aide d'essai à la boîte en L.
- **D'évaluer la différence entre le comportement du béton avec et sans obstacles** : Elle est déterminée à l'aide de l'essai de l'anneau japonais (J-Ring).
- **La Résistance à la ségrégation** : Elle est déterminée à l'aide de l'essai de la stabilité au tamis.
- **Mesurer le temps d'écoulement** : Il est déterminé à l'aide de l'essai de l'écoulement à l'entonnoir (V-Fennell).

- **-Mesure de la teneur en air occlus du béton :** Il est déterminé à l'aide de l'essai d'Aéromètre à Béton.

I-8-Avantages et inconvénient des bétons auto-plaçant

I-8-1 Avantages

Les raisons qui favorisent l'utilisation des BAP sont : - L'emploi des BAP permet des gains de temps appréciables dans la réalisation des constructions, ainsi que l'amélioration de la productivité.

- L'absence de vibration a pour effet de diminuer la ségrégation interne entre les particules solides et le liquide environnant, se traduisant par la réduction de la porosité entre pâte et granulats dans les zones de transition en particulier et l'amélioration de la durabilité.

-L'emploi des BAP en remplacement du béton ordinaire est devenu essentiel en raison des performances exigées pour certains types d'ouvrages nécessitant des volumes de renforts importants et des coffrages complexes, ce qui rend l'opération de vibration périlleuse.

- Les constructions réalisées en BAP présentent un bon aspect des surfaces, dû à l'utilisation des fines et la limitation de la dimension maximale du gros granulat permettant l'obtention d'un béton lisse et donne l'impression d'une meilleure finition.

-L'emploi de matériel de vibration du béton entraîne des nuisances sonores et des problèmes de santé comme la maladie des mains blanches, ce qui n'est pas le cas des BAP.

- L'industrie de préfabrication des produits en béton est devenue la plus grande utilisatrice des BAP en Europe [12].

I-8-2-Inconvénients

La raison essentielle qui ne favorise pas l'utilisation des BAP est due au fait que l'utilisation de super plastifiant et de fines étant nécessaire, ceci se traduit par une augmentation du cout. Cependant, l'emploi des BAP pour la réalisation de grandes structures peut s'avérer économique dans la mesure où le coût supplémentaire engendré par les additions et les adjuvants est vite compensée par les gains réalisés sur la main d'œuvre et les délais d'exécution [12].

I-9-La formulation des BAP fait appel à

- des super plastifiants pour obtenir la fluidité nécessaire et des agents de viscosité (ou de cohésion). Les super plastifiants permettent d'obtenir une meilleure répartition des grains de ciment et assurent le maintien de la fluidité. Les agents de viscosité ont pour but de diminuer la sensibilité du béton frais vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation.

- une quantité de fines (ciments, fillers calcaires...) élevée (400 à 600 kg/m³) pour assurer une bonne maniabilité.
- un volume de pâte élevé pour favoriser en écartant les granulats l'écoulement et la mobilité du béton.
- un faible volume de gravillons qui peuvent être roulés ou concassés (rapport gravillon/sable de l'ordre de 1) afin d'améliorer l'écoulement et éviter le « blocage des granulats » au droit des armatures et dans les zones confinées lors de l'écoulement du béton dans le coffrage.
- du ciment (dosage à optimiser pour obtenir les performances souhaitées et satisfaire les exigences liées aux classes d'exposition).
- un rapport E/C faible et un dosage en eau limité.
- éventuellement un agent entraîneur d'air pour assurer la protection du béton contre les effets du gel-dégel.
- éventuellement des fibres pour la confection de béton fibrés [9].

I-10-Les quatre principes fondamentaux

-Les études d'optimisation de la formulation des BAP ont pour objectif d'obtenir une formule fiable et robuste facilement contrôlable sur chantier. Pour ce faire, la formulation des BAP fait appel à :

- **fluidification de la pâte** : cette fluidification est obtenue sans ajout d'eau par utilisation de super plastifiants à fort pouvoir défloculant ;
- **limitation des frottements entre les granulats pour favoriser l'écoulement et la fluidité** : augmentation du volume de pâte et diminution du Dmax des granulats (Dmax compris entre 10 et 16 mm) ;
- **stabilisation du mélange** pour éviter le ressuage et les risques de ségrégation ;
- **maintien de la rhéologie** pendant la Durée Pratique d'Utilisation souhaitée [9].

I-11- conclusion

Nous avons passé en revue dans la première partie de cette synthèse bibliographique, les différents types de béton ainsi quelques généralités sur les constituants principaux d'un BAP et ces diverses méthodes de formulations ainsi les critères à demander pour assurer un bon comportement du béton à l'état frais et l'état durci car de nos jours, la formulation de bétons devient spécifiquement adaptée à la problématique de chaque ouvrage, que ce soit en termes de fluidité, de comportement mécanique à jeune âge ou à long terme ou de durabilité.

Toutefois, la connaissance de l'influence de chaque constituant devient nécessaire pour avoir des bétons ayant des caractéristiques recherchées.

Chapitre II
Utilisation des déchets en Génie civil

II-1-Introduction

En général, la réutilisation et le recyclage des déchets de construction sont centrés sur la préparation d'agrégats recyclés pour une utilisation dans le béton. En ajoutant une partie d'agrégats recyclés au lieu d'agrégats naturels au mélange, pour produire du béton recyclé, ce qui permet la conservation de l'énergie et des matériaux nécessaires à la production du béton.

L'industrie du béton consomme une grande quantité de matières premières naturelles et de l'énergie utilisée pour le chauffage, le concassage, le mélange et le transport et génère de grandes quantités d'émissions de chaleur, de pollution et de déchets. Le béton est un mélange de pâte qui agit comme un adhésif pour un groupe d'ingrédients que l'on peut appeler agrégat. La pâte se compose de ciment et d'eau, enveloppant et entourant des ingrédients fins comme du sable et des ingrédients grossiers comme du gravier et de la pierre concassée. Par une réaction chimique, la pâte durcit et lie les autres ingrédients ensemble, et le mélange forme une substance solide, semblable à de la roche, appelée béton.

Le ciment est un composé chimique en poudre de calcium, de silicium, d'aluminium, de fer et d'autres composants. Il est obtenu en mélangeant et en chauffant des matières premières naturelles à des températures très élevées, puis en les écrasant pour former une substance molle qui réagit avec l'eau pour former une pâte de béton. Les propriétés du béton varient selon le type d'ingrédients et les proportions de leur mélange. Cela conduit à une différence dans ses propriétés mécaniques et physiques, et il est utilisé au besoin. En raison des différents composants et de leurs proportions dans le mélange, de nombreux types de béton se présentent, y compris le béton léger, lourd et prêt à l'emploi, le béton polymère et autres, et chacun d'eux a des propriétés qui conviennent à des fins et des emplacements différents. Ces mélanges sont soumis à des expérimentations et des tests pour déterminer leur adéquation et la réalisation des spécifications requises, et des laboratoires doivent être présents sur les chantiers et les usines de fabrication de béton pour cela et afin de développer d'autres types également.

II-2-Les déchets en Génie Civil :

II-2-1-Déchets de construction et de démolition

Dans les chantiers de construction et de fabrication de béton, se forment des déchets tels que restes de béton neuf, échantillons de test, pierres, briques, sable, gravier, fer, etc. Ils représentent la partie la moins volumineuse et la moins contaminée des déchets de "construction et démolition", tandis que la plus grande partie est le résultat de la démolition, qui se compose de matériaux autres que le vieux béton tels que le bois, le plastique, l'asphalte, le gypse, la saleté, le vieux fer, les restes de fenêtres, les connections électriques et d'eau, les égouts et d'autres choses qui sont connues. Bien que les déchets de construction et de démolition partagent certaines caractéristiques et composants, ils diffèrent grandement en termes de quantité et de qualité, mais ils peuvent être abordés ici comme un composant, à savoir les «déchets de construction et de démolition» [13].

Même si ces déchets ne sont ni recyclés ni réutilisés, ils doivent être transportés du site d'origine vers un autre site éloigné, et ce processus de transport est coûteux financièrement et

écologiquement. Il se compose également de différents composants, donc s'il doit être recyclé et réutilisé, il doit y avoir des processus de séparation pour ces composants et de traitement de chacun d'eux séparément, et chacun a des technologies différentes pour le recyclage et l'utilisation [14].



Figure-II- 1:Déchets de construction et de démolition

II-2-2-Le Plastique

Dans le passé, l'ajout de plastique au béton le rendait plus faible. Pour surmonter ce problème, les étudiants exposaient les bouteilles aux rayons gamma, ce qui les rendait plus solides. Lorsque ces bouteilles en plastique sont placées dans une poudre mélangée à du ciment, le résultat est un béton 20% plus résistant que le béton conventionnel [14].

II-2-3-Le déchet du marbre

Les déchets de marbre de la carrière de Fil-Fila sont les blocs, les chutes et les moellons ayant différentes formes géométriques.[15]



Figure-II- 2:Le déchet de marbre

II-2-4-Le verre

Des études contemporaines ont montré que des inserts en verre usagé d'une taille de meulage inférieure à 10 microns peuvent être ajoutés au béton sans endommager la résistance ou la durabilité.



Figure-II- 3: Le Verre

II-2-5-La vase des barrages

Le nom de vase (mot emprunte au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries).

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes [16].

II-2-6-déchets d'activités économiques (DAE)

On appelle communément déchets d'activités économiques (DAE) tous les déchets qui ne sont pas des déchets ménagers au sens de l'article **R. 541-8** du Code de l'environnement. Sont notamment concernés les gisements suivants :

- entreprises industrielles et du BTP
- artisans et commerçants
- services publics (écoles, administrations,...)
- professionnels de santé (hôpitaux publics et cliniques privées, médecins,...)
- services tertiaires
- particuliers hors de leurs domiciles (déchets des établissements recevant du public.

Le terme DAE est désormais préféré à DIB (Déchets Industriels Banals) utilisé afin de tenir compte de la diversité d'activités produisant ces déchets.

C'est la part dite "assimilée" des DMA (Déchets Ménagers et Assimilés) car ils sont collectés en mélange avec les déchets ménagers. Les déchets assimilés sont des DAE que l'on peut considérer au titre de la Circulaire du 28 avril 1998, comme "les déchets courants des petits commerces, des artisans, des services, qui sont présentés sur le trottoir dans les mêmes récipients que les ordures ménagères, et qu'il est bien souvent impossible de distinguer, lors de la collecte, des déchets ménagers."

Les DAE peuvent être des déchets dangereux, non dangereux non inertes (dit "banals") ou encore inertes [17].

II-2-6-1-Les déchets du BTP

Le secteur du BTP est une des activités économiques dont la production de déchets est supérieure à celle des ordures ménagères dont la majorité provient de la démolition. Il existe 3 types de déchets du bâtiment :

- Les déchets inertes.
- Les déchets non dangereux et non inertes.
- Les déchets dangereux.

II-2-6-1-1-Déchet dangereux

Un déchet dangereux est un déchet qui présente des propriétés telles que définies par l'article R541-8 du code de l'environnement. Sa dangerosité se caractérise par une toxicité qui représente des risques pour la santé humaine et/ou l'environnement. La gestion de ces déchets est alors soumise à une réglementation stricte qui précise que le producteur est responsable de leur élimination (hormis pour les déchets des ménages dont la responsabilité est dévolue à la collectivité).

issus de l'activité industrielle, ils présentent des risques (métaux lourds, amiante, boues toxiques...). Dans la majorité des cas, ils sont produits par des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises au régime de la déclaration [18].



Figure-II- 4: Déchet dangereux sur le chantier

II-2-6-1-2-Les déchets inertes

Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Les déchets inertes, des déchets principalement minéraux :

- béton
- tuiles et briques
- agrégats d'enrobés
- déblais
- vitrage
- etc [19].

II-2-6-1-2-1-Les matériaux inertes

Les matériaux inertes sont des matériaux constitués de composés minéraux et qui ne subissent aucune modification chimique dangereuse, par exemple des pierres, du béton, des tuiles, des briques ou des déblais provenant de la réfection de routes [20].



Figure-II- 5:Les déchets inertes[2]

II-2-6-1-3-Les déchets non dangereux et non inertes

Ils ne sont pas inertes, mais ne représentent pas d'aspects toxiques (matériaux métalliques, résidus de plâtre...) [18].



Figure-II- 6: Déchets non dangereux[3]

II-2-7-Déchet industriel banal (DIB)

Ensemble des déchets non inertes et non dangereux générés par les entreprises, industriels, commerçants, artisans et prestataires de services ; ferrailles, métaux non ferreux, papiers-cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc.

Avec le tri à la source rendu obligatoire (décret 5 flux), il conviendrait désormais de parler de DRATS (déchets résiduels après tri à la source) [21].



Figure-II- 7: Déchets non dangereux[4]

II-2-8-Les déchets d'emballages

Entrent pour près de 30 % en poids et 50 % en volume dans la quantité totale des ordures ménagères. Une partie seulement est recyclée et les taux de recyclage varient fortement selon les matériaux, de 80 % pour le verre à 22 % seulement pour le plastique. Le reste est brûlé ou enfoui avec les autres ordures ménagères résiduelles, occasionnant diverses pollutions et rejets de gaz à effet de serre [22].

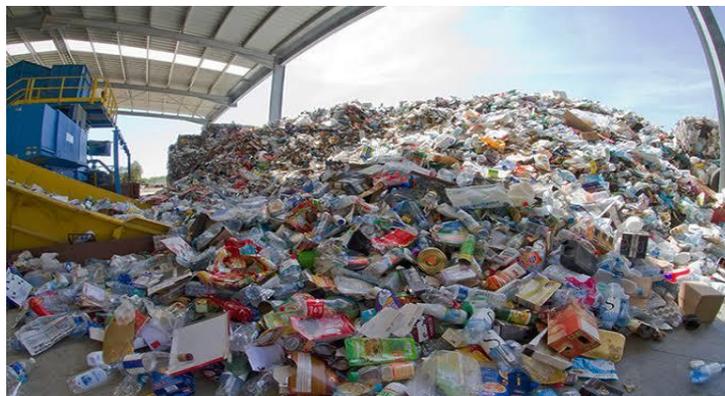


Figure-II- 8: Les déchets d'emballages[5]

II-2-9-Déchet Toxique en Quantités Dispersées (DTQD)

Désigne des déchets dangereux produits et détenus par les professionnels en trop petites quantités pour suivre directement la filière habituelle de traitement des déchets dangereux.

Peuvent être définis comme DTQD lorsqu'ils sont détenus en petites quantités :

- solvants.
- produits chimiques de laboratoire.
- bains photographiques.
- peintures, colles, vernis.
- cartouches de toners pour imprimantes.

- produits phytosanitaires.

Ils sont soumis à la réglementation générale en matière de déchets dangereux et relèvent à ce titre des plans d'élimination des déchets industriels spéciaux [17].



Figure-II- 9: Déchet Toxique en Quantités[6]

II-3- le marbre

II-3-1-Histoire du marbre

Le marbre s'est formé à partir d'un calcaire qui s'est déposé sur le fond des mers il y a entre 330 et 380 millions d'années .Le marbre a été utilisé pour la première fois en 438 avant JC, lorsqu'il était utilisé dans la fabrication de carreaux et de colonnes, et il est devenu célèbre dans la Grèce antique et à Rome jusqu'à ce que vous constatiez qu'il existe de nombreuses anciennes statues grecques et romaines antiques en marbre [23].

II-3-2- L'origine du marbre

Le marbre s'est formé à partir d'un calcaire qui s'est déposé sur le fond des mers il y a entre 330 et 380 millions d'années. Ces dépôts, peu à peu, ont alors formé des îles hercyniennes [23].

II-3-3-Définition de marbre

Le marbre est un calcaire métamorphique, constitué de calcite très pure (une forme cristalline de CaCO_3). Il est utilisé dans la sculpture, ainsi que comme matériau de construction, et à de nombreuses autres fins telles que le revêtement de sols, de murs et de murs de salle de bain. Et cela peut être dans de rares conditions de pression et de chaleur énormes dans le sol.

C'est une pierre naturelle, et elle est classée selon les roches métamorphiques, et elle est formée sous terre à partir de calcaire et de carbonate de calcium dans certaines conditions qui incluent plusieurs facteurs, y compris la pression, la température et le temps. Il est généralement extrait du sol sous forme de dalles [24].

II-3-4-Le marbre est fragile

Le marbre est fragile. En tant que roche calcaire, il supporte mal les matières acides. Aussi, il sera difficile à employer à l'état naturel dans une cuisine, par exemple [25].

II-3-5-Le marbre résisté au feu

Résistance au feu Marbre être le rend idéal pour la maison et la construction de bureaux. En cas d'accident le feu à la maison, le marbre assure moins de dégâts [26].

II-3-6-La dureté du marbre

Une dureté de 3,5- 4; une densité de 2,9; un point de fusion de 790-960° [27].

II-3-7-Le déchets de marbre (la poudre) à la place de ciment

En raison de l'épuisement continu des agrégats des carrières, les matériaux de construction sont de plus en plus jugés sur leurs caractéristiques écologiques. Le manque de technologie et de méthodes non scientifiques d'extraction du marbre en Algérie a généré une énorme quantité de déchets de ce précieux minéral; laisser directement les déchets à la nature peut causer de graves problèmes environnementaux. De plus, l'industrie de la coupe en marbre génère un volume élevé de déchets. Des études récentes ont montré que les déchets de marbre peuvent être utilisés comme agrégats pour les matériaux de construction triés. [28]

La poudre de marbre peut être utilisée comme adjuvant dans le béton, de sorte que la résistance du béton peut être augmentée. Il s'agit d'un déchet solide généré par le traitement du marbre et peut être utilisé comme matériau de remplissage dans le ciment ou comme granulats fins lors de la préparation du béton.

Le ciment représente l'élément le plus cher et le plus nocif pour la nature, car le processus de sa fabrication passe par plusieurs étapes d'extraction, de concassage, de broyage, etc., toutes ces étapes consomment une très grande énergie ainsi que des émissions de dioxyde de carbone, le principal polluant pour l'environnement, de sorte que l'utilisation de matériaux alternatifs pour le ciment contribue à son tour à réduire le coût de production du mélange de béton et améliore ses propriétés, surtout si ces matériaux alternatifs sont peu coûteux, tels que les déchets d'usines de marbre qui sont jetés dans des décharges. , causant des dommages à l'environnement.

II-4- le verre

II-4-1-Histoire de verre

L'histoire du verre remonte à la Préhistoire : en 100 000 av. J.-C., l'obsidienne, un verre volcanique naturel, est déjà taillée par l'homme pour former des pointes de flèches ; les tectites, billes de verre formées par des impacts avec des météorites, servent également de bijoux ; enfin, les fulgurites, petits tubes issus de la fusion du sable atteint par un éclair, sont connus[29].

II-4-2- L'origine du verre

Les premiers objets artisanaux en verre furent découverts en Égypte. Ils sont datés de 3 000 ans avant notre ère. Façonnés de manière primitive, le matériel était roulé sur un noyau de sable ou de terre cuite [30].

II-4-3-La matière première du verre

Sable, calcaire, carbonate de sodium entrent dans la composition du verre. Ces composants peuvent être remplacés par du calcin - verre collecté, trié et nettoyé.

Les matières premières sont mélangées dans l'atelier de composition, selon des proportions soigneusement définies [31].

II-4-4-La famille du verre

Matériaux minéraux

Ce sont des matériaux obtenus à partir de terre, de sable cuit ou de roche : Les verres sont obtenus par fusion du quartz contenu dans du sable, • Les céramiques sont obtenues par fusion du quartz contenu dans l'argile[32].

II-4-5-Les caractéristiques du verre

Les propriétés mécaniques : le verre est fragile, mais avant de casser, il a un comportement élastique; les propriétés thermiques : chaleur massique et dilatation thermique font du verre un bon isolant thermique ; les propriétés électriques : à basse température, le verre est isolant. [33].

II-4-6-Le déchet verre (la poudre) a la place de sable

II-4-7-1-Définition de poudre de verre

La poudre de verre est obtenue en broyant à une certaine finesse le verre récupéré. Lorsqu'il est incorporé au béton en remplacement d'une portion de ciment, le verre ainsi réduit en poussière se lie avec les éléments de chaud en vertu de ses propriétés pouzzolanique [34].

II-5-CONCLUSION

Les déchets constituent un réel problème, Le déchet est par définition «matière» et à ce titre la bio physicochimie.

L'objectif de ce travail est de valoriser les déchets en Génie civil et on a étudié leurs effets sur le comportement du béton.

L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Dans cette étude on s'intéresse aux déchets de marbre et pour l'utiliser en tant que granulats pour béton, il faut respecter certains critères qui seront exposés au chapitre suivant.

Chapitre III
Matériaux utilisés et essais

III -1-Introduction

Le béton est un composite dans lequel on distingue deux phases ; la matrice ou pâte de ciment durcie (ciment et eau) et les granulats (gravillons et sable).

Dont Les granulats constituent le squelette du béton et ils représentent dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton.

Alors avant la détermination des dosages des constituants qui rentrent dans la formulation du béton, il est recommandé de vérifier certaines propriétés et caractéristiques des matériaux composants le béton (granulats, ciment, eau, adjuvant), en les mesurant, par des méthodes et essais normalisés.

Dans ce chapitre on traite les modes opératoires des essais réalisés et les différents formulations de notre béton, ainsi que les différentes caractéristiques des matériaux utilisés.

III-2-Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, une matière inorganique finement moulue qui est gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit en réaction au processus d'hydratation. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau [35].

Le ciment que nous avons utilisé, dans ce travail expérimental de recherche, est le ciment portland composé de classe CEM II 42.5, fabriqué par la cimenterie de BENI SAF Wilaya d'AIN T'EMOUCHENT.

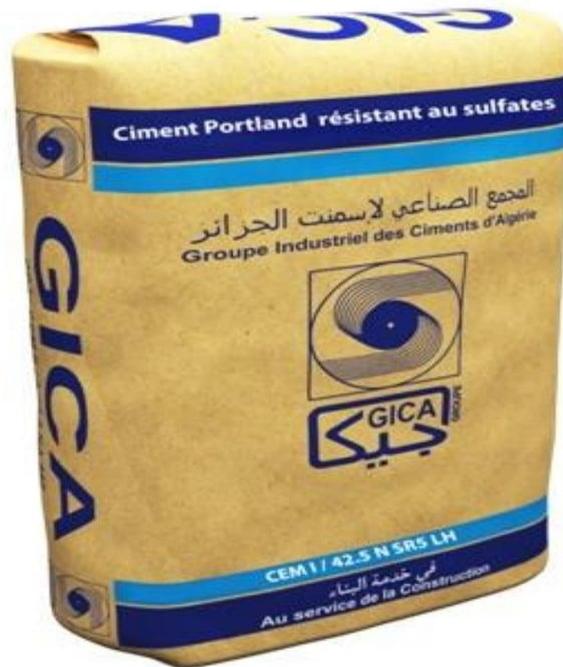


Figure-III- 1: Sac de ciment BENISAF

III-2-1-Histoire de ciment

Les Grecs sont les premiers constructeurs à employer la chaux obtenue par cuisson du calcaire. C'est l'Anglais Joseph Aspdin qui fait breveter en 1824 le ciment "Portland", obtenu à partir d'un procédé de calcination combinant la cuisson de calcaire et d'argile dans des fours alimentés au charbon [36].

III-2-2- l'origine du ciment

Le ciment est utilisé depuis des millénaires : dans l'Égypte antique, c'est un mortier de plâtre qui liait les pierres.... Les Romains utilisaient de la chaux, renforcée par des cendres volcaniques (pouzzolane) pour fabriquer leur mortier, qui était alors capable de prendre sous l'eau [29].

III-2-3- les composants du ciment

La composition classique du ciment est de 80 % de calcaire et 20 % d'argile. Les deux éléments sont broyés, cuits à très haute température, puis le résultat (clinker) est à nouveau broyé [37].

III-2-4- le rôle du gypse dans le ciment

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique [30].

III-2-5-fabrication de ciment

Le ciment est fabriqué en montant en température jusqu'à 1 450 ° C, un mélange défini et finement broyé de calcaire, d'argile et de sable dans un four rotatif. Sous l'effet de la chaleur, la farine issue de ce mélange se transforme en clinker.

Des cendres d'usines ou de centrales à charbon peuvent remplacer le ciment Portland dans la fabrication de béton. Le procédé ne nécessite pas de chauffage et génère donc beaucoup moins de CO₂.

Le ciment 42.5 pour les travaux courants en sac de 25 kg. Le ciment pour travaux courants, permet de réaliser des bétons de classe de résistance allant jusqu'à 30 MPA à 28 jours. Il convient aussi bien pour la construction que la rénovation, que ce soit en gros ou second œuvre [38].

III-2-6-Catégories et types de ciment

- **ciment Portland pur (CEM I) :** Ce ciment est composé du seul clinker. ...
- **ciment Portland composé (CEM II) :** Ce ciment est composé de clinker broyé avec des cendres volantes.
- **ciment de haut fourneau (CEM III) :** Mélange de clinker broyé avec du laitier granulé, ce ciment est aussi appelé ciment de haut fourneau.
- **ciment pouzzolanique (CEM IV) :** Ciment contenant entre 45 et 90 % de clinker, le reste étant des pouzzolanes naturelles, des cendres volantes siliceuses ou de la fumée de silice
- **ciment composé (CEM V) :** sont constitués d'un mélange de ciment Portland et d'un ou plusieurs ajouts cimentaires comme le laitier de haut fourneau granulé et broyé, les fumées de silice ou les cendres volantes.

III-2-9-Caractéristiques physiques de ciment

Dans le cadre de cette confection des différents bétons étudiés dans ce travail expérimental, le ciment utilisé est un produit de GICA (Groupe industriel du ciment Algérien). Nous avons alors utilisé dans cette étude un ciment portland composé, de classe CEM II 42,5, fabriqué par la société des ciments de BENI SAF (S.C.I.B.S.) .Wilaya d'AIN-TEMOUCHENT, dont les spécifications Physico-chimiques sont étudiées conformément à la norme algérienne (NA 442 éditions 2000).

Tableau 1:les constituants principaux autres que clinker doivent être déclarés dans désignation du ciment

Masse volumique apparents [g/m³]	1,22
Masse volumique absolue [g/m³]	3,03
Début de prise (h)	1h 40min
Fin de prise (h)	2h 40min
Consistance Normale (E/C)	0,27
La surface spécifique blin (cm²)	3045

Le tableau ci-dessous représente les résultats de l'analyse chimique du ciment utilisé dans notre recherche réalisée par laboratoire de la cimenterie de BENI SAF

Tableau 2:caractéristiques physiques du ciment

Elément (%)	CPI /A 42.5
SiO ₂	20,39
CAO	62,00
Al ₂ O ₃	3,14
Fe ₂ O ₃	4,91
MgO	1,13
SO ₃	2,57
Perte au feu	1,84
Totale	95,98
Insolubles (SiO ₂ non combinées)	0,50
Insolubles (CaO libre)	1,63

III-3-Les granulats

Pour pouvoir réaliser notre étude, nous avons choisi d'utiliser des agrégats locaux de wilaya D'Ain T'émouchent

Alors les agrégats utilisés sont les suivants :

- Sable de carrière et sable fine de fraction 0/3, gravier de roche naturel concassée : 3/8 et 8/16.
- Sable de carrière de fraction 0/3 provenant du gisement de la carrière ÉNG de MALEH et un sable
- Sable fine de fraction 0/1 du gisement de la carrière TERGA.

III-3-1-Les sables

Sable, l'un des types de matériaux de construction, sans lequel il ne peut pas faire, et presque pas de maçonnerie. Le sable est utilisé pour fabriquer du plâtre et du mortier de béton. Ils forment un lit de sable lors de la pose de dalles de pavage et sont utilisés dans la construction de routes et de voies ferrées. C'est un abrasif pour le sablage de toutes sortes. Il est tout simplement impossible de répertorier tous les types de travaux de construction et la production de matériaux de construction dans un petit article, où le sable est l'un des composants.

III-3-1-1-Il en existe deux types: naturel et artificiels

Le sable naturel se compose principalement de roches sédimentaires et souvent de minéraux de quartz, de feldspath et d'autres composants de ces roches. Le sable artificiel est fabriqué à partir de gravier ou de roches, en utilisant un équipement spécial à cet effet, qui écrase la roche et donne des grains de sable jusqu'à 5 mm de taille.

Il existe plusieurs types de sable. La principale différence entre eux est la présence de particules poussiéreuses et d'argile. Et, bien sûr, ce qu'on appelle le coefficient de taille des particules. La densité du sable pur est d'environ 1,3 tonne par mètre cube. Si la densité du sable est d'environ 1,8 t / m³, il a une teneur élevée en humidité et en argile.

D'une manière générale, il existe deux types de sable dans notre environnement, tout dépend de l'emplacement de ces sables et de leurs formes :

III-3-1-1-Sable fin

Le sable de mer a un degré élevé de nettoyage de diverses impuretés d'origine naturelle. En termes de qualité, le sable de mer est l'un des meilleurs pour la préparation des mélanges de béton, du béton et des produits en béton armé. Le sable de mer est un matériau universel en demande pour le logement, les routes et le génie civil

III-3-1-1-2-Sable de carrière

Sable de carrière. L'extraction est réalisée de manière ouverte dans les carrières. Parfois, cela se fait en concassant du gravier. Sous cette forme, il contient souvent beaucoup d'argile, ainsi que diverses impuretés organiques. Ce sable est utilisé, dans une large mesure, pour les travaux de plâtrage et de fondation. En raison de son faible coût, le sable de carrière est très demandé pour la construction.

III-3-2-Les gravier

Le gravier est un granulat composé d'un mélange de sable et de gravillons. Il est utilisée principalement dans l'exécution des corps de chaussées (routes et autoroutes), de plateformes (parcs de stationnement, aires de stockage...), de pistes d'aérodromes. Dans toutes ces réalisations, quelques décimètres d'épaisseur de gravier sont utilisées sous la couche de finition (enrobé bitumineux de couverture, dallage béton, enduit superficiel d'usure...). Les graviers peuvent être naturels, reconstitués en centrale, traités aux liants hydrauliques (ciment, laitier...), à la chaux, ou aux liants hydrocarbonés (bitume) [40].

III-3-2-1- fabrication de gravier

La fabrication en roche massive commence par une phase d'extraction, avec l'utilisation d'explosifs. C'est l'abattage. Les matériaux extraits vont ensuite être lavés, concassés et criblés pour obtenir la granularité souhaitée [21].

III-3-2-2-Caractéristiques physiques des granulats

Dans le but d'une bonne formulation de différents bétons, plusieurs essais de caractérisation Physique ont été effectués, dans cette étude, sur les matériaux granulaires utilisés (constituant le béton), dont plusieurs modes opératoires sont présentés ci-dessous.

III-3-3-L'analyse granulométrique par tamisage

III-3-3-1- introduction

Les Granulats utilisés dans le domaine de bâtiment et de génie civil sont des matériaux roulés ou concassés d'origine naturelle ou artificielle, de dimension comprise entre 0 et 80 mm. Ils

ne sont généralement pas constitués par des éléments de tailles égales mais par un ensemble de grain de taille variées se répartissent ed deux limites : la plus petit (d) et la plus grand (D) dimension en mm

L'analyse a été effectuée conformément à la norme européenne **BNQ 2501-025**, en utilisant les tamis préconisés par la norme européenne **BNQ 2501-025** .

III-3-3-2- But de l'essai Analyse granulométrique

- Déterminer les dimensions des grains.
- Déterminer les proportions de grains de même dimension.
- En déduire le Module de finesse (Mf).

III-3-3-3-Principe de l'essai analyse granulométrique

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant un série des tamis, emboîtées les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieur des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

III-3-3-4-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).

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 .**Norme Française XP P 18-540** précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles.

Norme Française XP P 18-540distingue quatre familles de granulats: les fillers, les sablons, les sables et les gravillons, et également quatre catégories pour les granulats naturels.

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

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

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.

III-3-3-5-. Traçage de la courbe granulométrique

Il Suffit de porter les divers pourcentages des tamisas cumulés sur une feuille semi

Logarithmique :

En abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique

En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

La courbe doit être tracée de manière continue.

III-3-3-6-Calcul des coefficients d'uniformité (Cu)

Les courbes granulométriques obtenues et leurs pentes moyennes permettent de caractériser

Le degré d'uniformité de la taille des éléments minéraux des agrégats. D'où la définition de deux caractéristiques. Il s'agit du rapport de Hazan ou coefficient d'uniformité de Hazan (Cu). Le Cu est le rapport entre deux diamètres apparents, définis de telle sorte que la taille de 60%, et respectivement 10% des particules soit inférieure.

Le coefficient d'uniformité de Hazan est un indice d'irrégularité de la distribution de la taille des particules. Il est obtenu selon la Norme Française (NFP 18-540) par la Formule suivante :
Cu=D60/D10...

D60 et D10 étant les valeurs lues en abscisse pour les points de la courbe granulométrique correspondant aux ordonnées de 60% et 10%. Par conséquent, la référence suivante permet de déterminer l'uniformité de la courbe.

-Si Cu<3, alors la granulométrie est uniforme ou encore serrée.

-Si Cu>3, alors la granulométrie est variée ou encore étalée.

III-3-3-7- Le coefficient de classement ou de courbure (Cc)

Le coefficient de classement ou de courbure (Cc) selon la Norme Française (NFP 18-540) quant à lui, permet de décrire la forme de la courbe granulométrique entre D10 et D60. Le coefficient de classement fait appel à la notion de diamètre effectif correspondant au pourcentage(%) de passants placés en indice déterminé à l'aide de la courbe granulométrique. D60 est le diamètre effectif des particules qui correspond à 60% de passants, D10 est le diamètre effectif des particules qui correspond à 10% de passants et D30 le diamètre effectif des particules qui correspond à 30% du passant. Ainsi, si le granulat est bien gradué, on a la présence d'une grande variété de diamètres.

Lorsque $1 < Cc < 3$, la courbe granulométrique descend d'une façon assez régulière, indiquant ainsi la présence d'une grande variété de diamètres. Un Cc trop grand ou trop petit indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D10 et D60, la granulométrie est alors mal graduée. La détermination du coefficient de classement est donnée par la Formule suivante :

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

III-3-3-8-Module de finesse

Cet essai nous permet le calcul du module de finesse équivalent au 1/100 e de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis de la série suivante :

5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,16mm selon **NFP 18-540**

Le Module de finesse d'un sable donne par la formule suivant :

$$MF = \frac{\sum \text{Refus cumulés en \% des tamis}}{100}$$

Lorsque le module de finesse est compris entre :

- $1.8 < MF < 2.2$: le sable est à majorité de grains fins. Le sable est à utiliser si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- $2.2 < MF < 2.8$: on est en présence d'un sable préférentiel. Le sable est à utiliser si l'on recherche une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités.
- $2.8 < MF < 3.3$: le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables. Le sable est à utiliser si l'on recherche des résistances élevées au détriment de l'ouvrabilité et avec des risques de ségrégation.
- $MF > 3,2$ le sable est à rejeter.

III-3-3-9-La correction des sables

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 à 2,8. Une façon de le rendre convenable consiste à le mélanger à un autre sable de telle sorte que la combinaison des deux "Mf" permette l'obtention du "Mf" escompté. On utilise pour cela la méthode d'ABRAMS. C'est une règle de mélange de granulats basée sur l'obtention d'un module de finesse global à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à mélanger

On dispose de deux sables "S1" et "S2" de module de finesse respective "Mf1" et "Mf2". On désire obtenir un mélange granulaire "S" de module de finesse "Mf". Les pourcentages de "S1" et "S2" nécessaires pour obtenir le mélange S sont tels :

$$S1\% = \frac{MF - MF2}{MF1 - MF2} \times 100$$

$$S2\% = \frac{MF1 - MF}{MF1 - MF2} \times 100$$

III-3-4-Les Analyse s granulométriques

III-3-4-1-mode Opérateur

Pour la détermination de l'analyse granulométrique, nous avons utilisé une masse de 1000g de sable de sable et de 2000g de gravier 8/16 et 2000g de gravier 3/8 préalablement conservées dans un four 105°C pendant 24heures, en utilisant la série des tamis suivant :0.08-0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm pour le sable. 16- 10 - 8 - 6,3 -5 -4 – 3.15 mm Pour le gravier

III-3-5-La masse volumique apparente

Selon la norme **NF P 18-554** pour le gravier et **NF P 18-555** pour le sable.

La masse volumique d'un granulat est le rapport entre sa masse et son volume suivant cette relation : $M = \rho \times V$

M : la masse de échenillant ;

P : la masse volumique ;

V : volume de récipient.

La masse volumique apparente est la masse du granulat occupant l'unité de volume, tous vides inclus.

Cette manipulation a pour but de déterminer la masse volumique d'un granulat avec la méthode d'un récipient jaugé. Et pour plus de précision dans notre calcul de cette masse volumique ; nous avons effectué Cet essais 3 fois de suite.

III-3-5-1-DÉFINITION

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

La formule $\rho = \frac{m}{v}$

III-3-5-2-Le but

Déterminer les masses volumiques apparentes du matériau de construction, c'est-à-dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

III-3-5-3-Mode opératoire

- 1_Verser dans le récipient les granulats secs, par couches successives et sans tassement (utiliser l'entonnoir ou les mains) ;
- 2_Araser à l'aide de la règle métallique ;
- 3_Peser le récipient rempli : note (M) ;
- 4_Calculer la masse volumique apparent ;
- 5_ Refaire la mesure 3 fois.

III-3-6-La masse volumique absolue

La masse volumique absolue d'un sable ou d'un gravier est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

Nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée quelle est très simple et rapide Selon la Norme **NF P 18-554** pour le gravier et **NF P 18-555** pour le sable.

III-3-6-1-Mode opératoire

- ❖ Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- ❖ Peser un échantillon sec M et introduire l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- ❖ Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le niveau volume V2.
- ❖ La masse volumique est alors :

$$\rho (\text{abs}) = \frac{M}{V2 - V1}$$

III-3-7-Teneur en eau

NF P 18-554 pour les graviers et NF P 18- 555 pour les sables

La teneur en eau est le rapport de la masse d'eau contenue dans un granulat sur Sa masse sèche, de faire évaporer cette eau et de peser la quantité de granulat sec. La différence de ces deux pesées définit la quantité d'eau évaporée. La teneur en eau notée « ω » est exprimée en (%).

$$\omega = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Avec :

Mh = poids des granulats humides.

Ms = poids des granulats secs.

III-3-8-Foisonnement du sable**III-3-8-1Principe**

L'essai consiste à mesurer la variation de la masse volumique apparente d'un échantillon de sable en fonction de l'accroissement progressif de sa teneur en eau. Les résultats sont portés sur un graphique en vue de tracer la courbe de foisonnement du sable testé.

III-3-8-2L'objectif

Est donc de déterminer ce manque en vue de le combler lors de la préparation du mélange.

La formule :

$$F = M(v_{appo}) / M(v_{appw}) \times (1+W) - 1$$

- M (vappo) : Masse volumique apparente du granulat sec (kg/m³) ;
- M (vappw) : Masse volumique apparente minimale du sable remanié (Kg/m³) ;
- W : teneur en eau correspondante (%)

III-3-9-L'eau

L'eau de gâchage utilisé dans notre étude est une eau potable eau de robinet fourni au laboratoire de génie civil de l'Université de AIN TEMOUCHENT alors Cette eau est considérée comme approprié pour la fabrication du béton et ne nécessite aucun essai selon la norme **NF EN 1008**.

Eau incorporée au mélange liant et granulats afin d'enclencher sa prise et de conférer au béton sa plasticité, donc son ouvrabilité.

III-3-9-1- Le rôle de l'eau dans le béton

L'eau joue un double rôle dans la formulation du béton : déclencher l'hydratation du ciment (liant hydraulique) qui conduit à la prise et au durcissement du béton par la formation de constituants hydratés qui ont des propriétés liantes ; assurer la maniabilité du béton frais pour faciliter sa mise en place.

Le rapport **E/C** est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité. Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher le béton. Certes, l'eau potable distribuée par

le réseau du service public est toujours utilisable mais, de plus en plus souvent, nous sommes placés devant la nécessité d'utiliser une eau non potable. **NF EN 1008** a permis de préciser à quelles conditions une eau est utilisable [41].

III-3-10-Filler Calcaire

est un matériau très finement broyé, il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers, tout en présentant une certaine activité physico- chimique en favorisant l'hydratation des silicates tricalciques selon la norme **NF P 18 -508**.



Figure-III- 2: Filler calcaire

III-3-11-adjuvant

Par définition, les adjuvants sont des produits dosés en faible quantité dans les bétons moins de 5 % de la masse de ciment. Ce sont souvent des composés organiques, spécialement formulés pour les applications béton, et disponibles commercialement sous forme de solutions aqueuses. Ils ont pour but d'améliorer certaines propriétés du matériau. C'est surtout la rhéologie du béton frais et la cinétique de prise et de durcissement que l'on peut espérer modifier directement. Parfois, les adjuvants commerciaux sont des mélanges de molécules de base, ce qui leur confère une certaine poly fonctionnalité [28].

III-3-11-1-super plastifiant

Un super plastifiant ou haut réducteur d'eau est un adjuvant pour matériaux cimentaires tels que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons de ciment. Il est utilisé pour diminuer la quantité d'eau qu'ils contiennent à l'état frais et ainsi augmenter leur résistance mécanique à l'état durci [42].

Les super plastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue [43].

Ils permettent

- De réduire très fortement la quantité d'eau de gâchage tout en maintenant la maniabilité.

- D'augmenter la maniabilité tout en conservant les performances.
- De réaliser des bétons à compacité élevée, permettant des gains de performance très importants en termes de résistances mécaniques initiales et finales élevées.
- Diminution de la porosité.
- Accroissement de la durabilité [44].



Figure-III- 3: Marbre passant par un tamis 0,08mm



Figure-III- 4: : Le verre passant par tamis 3mm

III-4-Voici La formulation de BAP pour 1m³

- Ciment : 350kg
- Sable : 810kg
- Gravier 3/8 :270kg
- Gravier 8/15 : 540kg
- Fillers calcaires : 110kg
- Eau : 210 litre
- Adjuvant : 7,82 (1,7%)

III-4-1-La méthode pour calculer les quantités des matériaux

Nous on a besoin de trois éprouvettes dans chaque essai donc on multiplies le volume d'éprouvette fois 3 ; et aussi on a choisis 1,5 comme un coefficient pour majoré les quantités ; et nous utilisons la méthode des trois pour calculer les quantités.

Nous utilisons L'éprouvette de diamètre 16cm et hauteur 32 cm

- **Volume d'éprouvette**

$$V = (0,16^2 \times \pi / 4) \times 0,32$$

$$V = 0,00643 \text{m}^3$$

- **Volume de 3 éprouvettes**

$$V = 0,00643 \times 3$$

$$V = 0,01929 \text{m}^3 \times 1,5$$

$$V = 0,028935 \text{m}^3$$

- ciment : 350kg → 1 m³

$$X \rightarrow 0,028935 \text{ m}^3$$

$$X = 350 \times 0,028935$$

$$X = 10,12725 \text{ kg}$$

- **La mémé méthode pour les autres matériaux**

- Sable : 23,43735 kg
- Gravier 3/8 :7,81245 kg
- Gravier 8/15 :15,6249 kg
- Fillers calcaires : 3,18285 kg
- Eau : 6,07635 litre
- Adjuvant : 0,2262 kg

Dans notre essai nous choisissons deux pourcentages de déchets 5% et 25% pour les insérer dans la formulation précédente. Nous utilisons la poudre de marbre avec le ciment et le sable de verre avec sable de carrière.

Les formulations de BAP avec plusieurs pourcentages ;

- **Serie1** :5% de marbre et 5% de verre

Quantité de verre:

$$\text{Verre} = \frac{23,43735 \times 5}{100} = 1,1718 \text{kg}$$

- Verre=1,1718kg

Quantité de sable :

$$23,43735 - 1,1718 = 22,2655 \text{kg}$$

- Sable : 22,2655kg

Quantité de marbre :

$$\text{Marbre} = \frac{10,12725 \times 5}{100} = 0,5063 \text{kg}$$

Quantité de Ciment : 10,12725-0,5063

- Ciment : 9,62095kg
 - Gravier 3/8 : 7,81245kg
 - Gravier 8/15 : 15,6249kg
 - Fillers de calcaires : 3,18285kg
 - Eau : 6,07635litre
 - Adjuvants : 0,2262kg
- **Série2** : 5% de marbre et 25 verres
 - Sable : 17,57801 kg
 - Verre : 5,85933 kg
 - Ciment : 9,62095 kg
 - Marbre : 0,5063 kg
 - Gravier 8/15 : 15,6249kg
 - Fillers de calcaires : 3,18285kg
 - Eau : 6,07635litre
 - Adjuvants : 0,2262kg
 - **Série3** : 25% marbre et 5% verre
 - Sable : 22,2655kg
 - Verre : 1,1718kg
 - Ciment : 7,59543kg
 - Marbre : 2,53181 kg
 - Gravier 8/15 : 15,6249kg
 - Fillers de calcaires : 3,18285kg
 - Eau : 6,07635litre
 - Adjuvants : 0,2262kg
 - **Série4** : 25% marbre et 25% verre
 - Sable : 17,57801 kg
 - Verre : 5,85933 kg
 - Ciment : 7,59543kg
 - Marbre : 2,53181 kg
 - Gravier 8/15 : 15,6249kg
 - Fillers de calcaires : 3,18285kg
 - Eau : 6,07635litre
 - Adjuvants : 0,2262kg



Figure-III- 5: Préparation des matériaux



Figure-III- 6: Préparation des moules

III-4-2-Mode de malaxage

1. Introduire les graviers dans le malaxage.
2. Introduire les poudres (ciment + additions) dans le malaxage.
3. Introduire le sable dans le malaxage.
4. Malaxage à sec pendant 1 minute.
5. Introduire 1/3 de la quantité d'eau et malaxage pendant 30 secondes.
6. Introduire le super plastifiant avec la quantité d'eau restante (2/3) et procéder à un malaxage de 3 minutes. (le super plastifiant doit être mélangé avec l'eau).



Figure-III-7: Les éprouvettes après 24h

III-5-Les essais à l'état frais

III-5-1-essai de cône d'Abrams

Pour réaliser cet essai d'étalement on utilise le cône d'Abrams posé sur une plaque plane en acier. L'essai consiste à remplir le cône d'Abrams en une fois, puis de le soulever et de mesurer le diamètre moyen de la flaqué d'étalement obtenue (2 mesures correspondant à 2 diamètres perpendiculaires)

La Norme (NF EN 12350-8) [28]

III-5-1-1-le principe de l'essai

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

III-5-1-2-Le but de l'essai

Cet essai est particulièrement utile pour tester les bétons de faible ouvrabilité. La dimension maximale des granulats ne doit pas dépasser 40mm

III-5-1-3-Mode opératoire

Pour réaliser cet essai une plaque et un cône d'Abrams sont utilisés :

- la plaque est en acier et a une surface dure et non-absorbante ;
- le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm². Il porte le nom de son inventeur Duff Abrams (**en**)³ ;
- une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

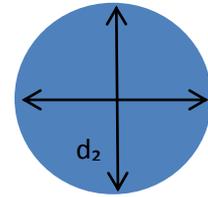
- le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque ;
- le cône est rempli avec du béton frais
- le cône est arasé avec une tige ;
- le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler ;



Figure-III- 8: L'essai de l'étalement

Tableau 3: Classe d'étalement

Étalement au cône d'Abrams (mm)	Classe d'étalement		
	SF ₁	SF ₂	SF ₃
	550à650	660à750	760à850



$$\varnothing = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

III-5-1-5-L'essai de la stabilité au tamis

III-5-1-5-1-La Définition

Cet essai permet d'évaluer le risque de ségrégation « statique » et d'étudier le ressuage du BAP, qui doit être stable et conserver une composition homogène sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Au bout de 15 min, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis.

Norme d'essai : **NF EN 12350-11**.

III-5-1-5-2-Le but

Le but de cette essai c'est déterminer le pourcentage en poids de laitance. Il caractérise le risque de ségrégation.

III-5-1-5-3-Les Matériel nécessaires

Un tamis de 5mm et un tamis fond.

III-5-1-5-4-mode opératoire

- Pour réaliser cet essai un seau et un tamis sont utilisés. Le tamis a une ouverture de maille de 5 mm
- L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :
- remplir un seau de 10 litres avec du béton ;
- le laisser reposer 15 minutes ;
- verser la partie supérieure (4,8 kg de béton \pm 0.2 kg) sur le tamis depuis une hauteur de 50 cm ;
- attendre 2 minutes puis peser la laitance qui est passée au travers le tamis ;
- calculer le pourcentage de laitance en divisant la masse de la laitance par la masse initiale du béton.

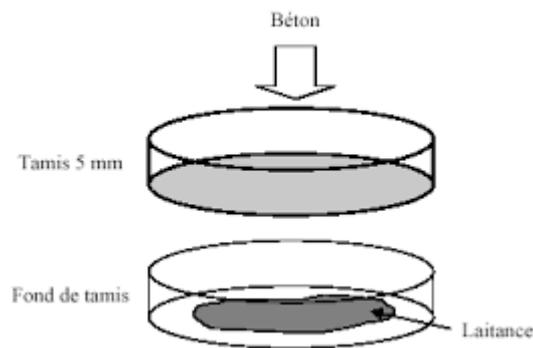


Figure-III- 9: : Schéma de l'essai de stabilité[7]

Le pourcentage **P** de laitance traversant le tamis par rapport à la masse de l'échantillon est donné par la relation suivant

$$P = \frac{\text{massedelaitance}}{\text{massedel'échantillon}} \times 100$$

Tableau 4: Classement d'essai stabilité au tamis

Condition	Critères de stabilité	Remarque
$0 \leq P \leq 15\%$	Stabilité satisfaisante	Béton homogène et stable
$15\% \leq P \leq 30\%$	Stabilité critique	Vérifier les autres critères d'ouvrabilité
$P \geq 30\%$	Stabilité très mauvaise	Ségrégation systématique, béton inutilisable

❖ Dans notre essai on a pris 4,5 kg d'échantillon

III-6-Les essais à état durci

Après 28 jours on a fait des essais destructifs et non destructifs et on va vous présenter les résultats des essais expérimentaux sur ce béton à savoir (l'essai de résistance à la compression, essai d'ultrason, essai de scléromètre, essai d'absorption d'eau), Ces essais ont pour but de jugé la validité de la qualité de notre béton.

III-6-1-Essais destructif

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs.

III-6-2-Essais non destructifs

Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, Ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments. Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles. Une importante caractéristique des essais non destructifs est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps.

III-6-3-But d'utilisation

Ces essais sont rapides et faciles à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.

III-6-4-Principaux domaines d'application

Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer de façon indirecte les caractéristiques des matériaux à savoir :

- ✓ La résistance
- ✓ l'homogénéité
- ✓ La porosité
- ✓ La durabilité

III-6-5-Essai d'absorption d'eau

III-6-5-1-Matériel

- ❖ Balance avec une précision de 0,1 g.
- ❖ Récipient.
- ❖ Chronométré.
- ❖ Matériel de manutention et de nettoyage.

III-6-5-2-Matériaux utilisés

- ❖ Eprouvette en béton BAP 16/32

III-6-5-3-Mode opératoire

Le principe de l'essai consiste à placer un échantillon de dimension connue au contact d'une nappe d'eau libre dont le niveau est maintenu constant et d'effectuer pour des échéances de temps données un suivi pondéral de l'échantillon. La masse initiale de l'éprouvette **M**. introduction de l'échantillon

Des précautions doivent être prises pour les pesées de l'échantillon. Afin de laisser le plateau de la balance sec et d'éviter les erreurs de pesées, à chaque échéances.

Le coefficient d'absorption capillaire est défini par relation suivante :

$$C_a = \frac{M_x - M_0}{A} \text{ [Kg/m}^2\text{]}$$

Ou

- ✓ M_x est la masse initiale de l'éprouvette à une échéance donnée(Kg)
- ✓ M_0 est la masse initiale de l'éprouvette (Kg)
- ✓ A est la section de l'éprouvette. $A=0,020m^2$
- ✓ Relevons la masse des éprouvettes aux échéances de temps suivantes
 $T=30'',1',3',5',10',15',20'$.



Figure-III- 10: Essai d'absorption d'eau

III-6-6-Essai de scléromètre

Le scléromètre est constitué d'une tête en acier, d'un ressort calibré et d'un manche utilisé pour mesurer le « rebond » de sa tête après son choc avec la surface d'un matériau ou d'une structure. Le scléromètre s'utilise généralement dans le secteur de la construction et parfois dans d'autres secteurs industriels.

La pointe du scléromètre permet de mesurer la résistance à la compression de l'échantillon après un endommagement superficiel négligeable grâce à l'application d'un choc contrôlé.



Figure-III- 11: Essai de scléromètre

III-6-7-Essai d'ultrason

L'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton ; cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc a priori une résistance plus importante.

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes « Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

L'essai de la vitesse de propagation doit être réalisé selon la norme **NF EN 12504-4**.

Tableau 5: Classements qualitatifs du béton selon la vitesse de propagation

$2500 \leq V < 3200$	Béton de faible résistance
$3200 \leq V < 3700$	Béton de moyenne résistance
$3700 \leq V < 4200$	Béton à haute résistance
$V \geq 4200$	Béton à très haute résistance

III-6-8-essai de résistance

L'une des caractéristiques principales du béton durci est sa résistance mécanique en compression à un âge donné (28jours). Elle est désignée par f_{c28} et se mesure par compression axiale d'une éprouvette à 28 jours selon la norme [NF EN 12390-3].

III-6-8-1-Mode opératoire

Centrage d'éprouvette sur la presse d'essai.

La mise en place qui s'effectue avec une vitesse constante.

Application d'une charge croissante jusqu'à la rupture.



Figure-III- 12: Essai de résistance à la compression

II-7-conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les différentes analyses pour la caractérisation des matériaux utilisés dans l'intention de la confection du BAP, et les modes opératoires des essais, tel que les essais physiques, chimiques et mécaniques, dont la plupart ont été effectués au niveau de notre laboratoire des matériaux.

Ces analyses montrent que les matériaux utilisés sont appropriés pour la confection du BAP. Afin d'avoir un bon béton.

Les résultats obtenus dans ce chapitre permettent donc d'avoir une idée générale sur les Caractéristiques principales du béton objet de notre étude, et dans le prochain chapitre on va découvrir les résultats de ces essais pour valider ce béton.

Chapitre IV

Résultats et interprétations

IV-1- Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisées ainsi que les formulations de béton étudiés.

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des expérimentaux sur ce béton (BAP) à savoir (scléromètre, ultrason, résistance à la compression, absorption d'eau), ces essais ont pour but jugé la validité de qualité de notre béton(BAP).

IV-2- Les résultats des essais à état frais

IV-2-1- Analyse granulométrique

IV-2-1-1- Les résultats de module de finesse du sable de mer

Tableau 6: Analyse granulométrique du sable de mer

Tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
5	0	0	0	1000	100
2.5	1	1	0.01	999	99.9
1.25	33	34	3.4	966	96.6
0.63	81	115	11.5	885	88.5
0.315	800	915	91.5	85	8.5
0.16	30	945	94.5	55	5.5
0.08	30	970	97.	30	3
FOND	23	998	99.8	2	0.02

IV-2-1-1-1- Module de finesse

➤ $MF = \sum \text{des refus en \% des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)} / 100 = 2.00$

Commentaire

module de finesse = 2 Sable fin.

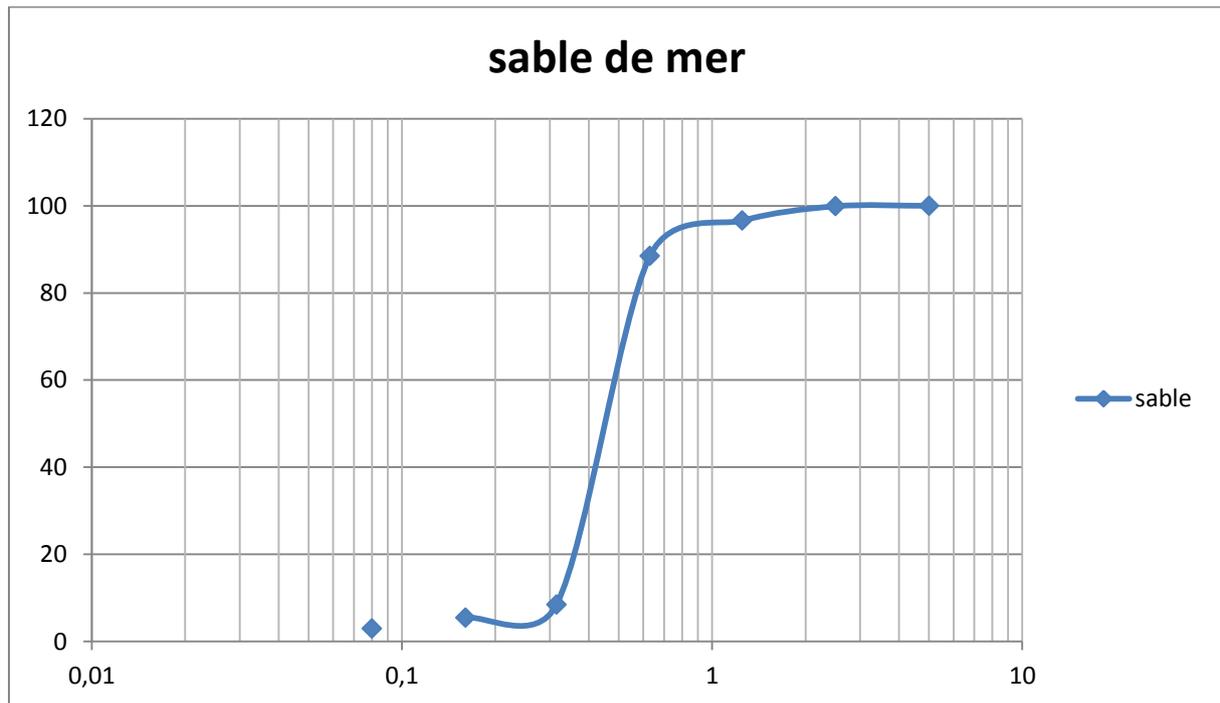


Figure-IV- 1: Analyse granulométrique de sable de mer

- $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.50}{0.3} = 1.66$
- $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = \frac{0.4^2}{0.3 * 0.5} = 1.06$

Commentaire :

- $Cu = 1,66$ ----- $Cu < 3$ _ La granulométrie est uniforme ;
- $Cc = 1,06$ ----- $1 < Cc < 3$ _ indiquant la présence d'une grande variété de diamètre.
- **IV-2-1-2-Les résultats de module du sable de carrière**

Tableau 7: Analyse granulométrique du sable de carrière

Tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
5	28.7	28.7	2.87	971.3	97.13
3.15	94.7	123.4	12.34	876.6	87.66
2.5	62.3	185.7	18.57	814.3	81.43
2	83.6	269.3	26.93	703.7	70.37
1.25	129.3	398.6	39.86	601.4	60.14
1	73.1	471.7	47.17	528.3	52.83
0.63	83.2	554.9	55.49	445.1	44.51
0.5	41.6	596.5	59.65	403.5	40.35
0.315	153	749.5	74.95	250.5	25.05
0.16	83.5	833	83.3	167	16.7
0.125	56.7	889.7	88.97	110.3	11.03
0.063	74.6	964.3	96.43	35.7	3.57
Fond	35.3	999.6	99.96	0.4	0.04

IV-2-1-2-1-Module de finesse

- $MF = \sum \text{des refus en \% des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)} / 100 = 2.7$

Commentaire

module de finesse = 2.7 Sable préférentiel

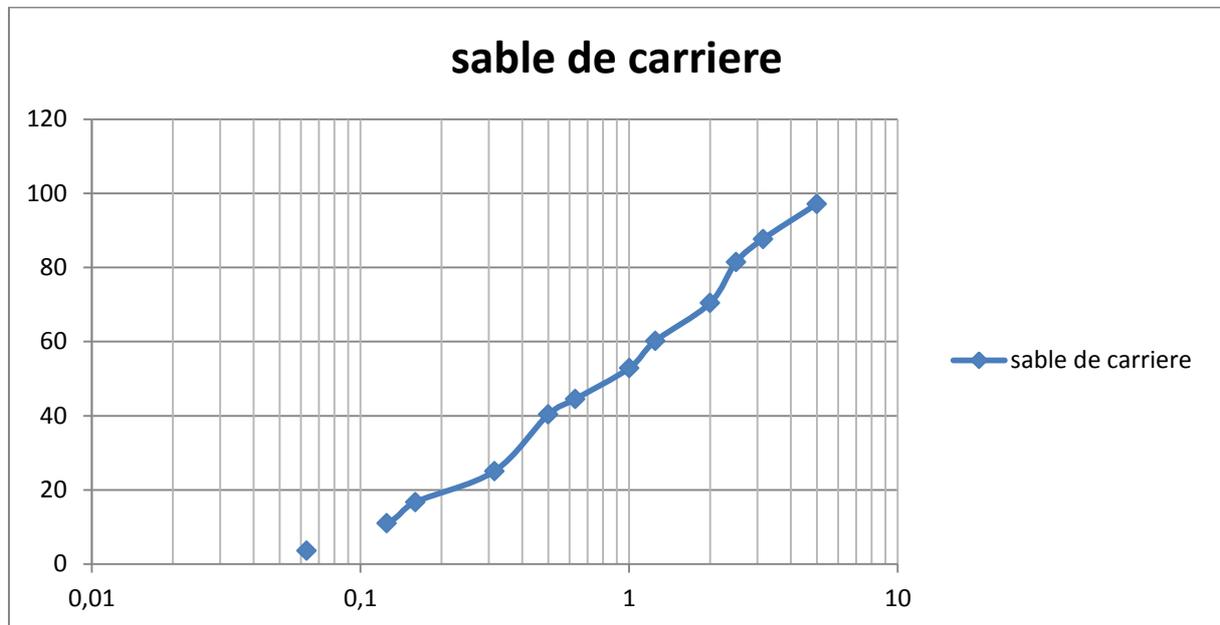


Figure-IV- 2: Analyse granulométrique du sable de carrière

- $Cu = D_{60} / D_{10} = 1,250 / 0,1 = 12,5$
- $Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60} = 0,4^2 / 0,1 \times 1,25 = 1,28$

Commentaire

- $Cu = 12,5$ ---- $Cu > 3$ _ veut dire que la granulométrie est variée ;
- $Cc = 1,28$ ----- $1 < Cc < 3$ _ indiquant la présence d'une grande variété de diamètre

Tableau 8:Analyse granulométrique de verre

Tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
5	0.5	0.5	0,05	999.5	99.95
2.5	125.9	126.4	12.63	873.6	87.37
1.25	270.8	397.2	39.72	602.8	60.28
0.63	211.2	608.4	60.84	391.3	39.16
0.315	218	826.4	82.64	173.6	17.36
0.16	126.2	952.6	95.26	47.4	4.74
Fond	47	999.6	99.96	0.4	0.04

IV-2-1-3-1-module de finesse

➤ $MF = \sum \text{des refus en \% des tamis (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5)} / 100 = 2.9$

Commentaire :

Module de finesse = 2,9 sable de verre gros.

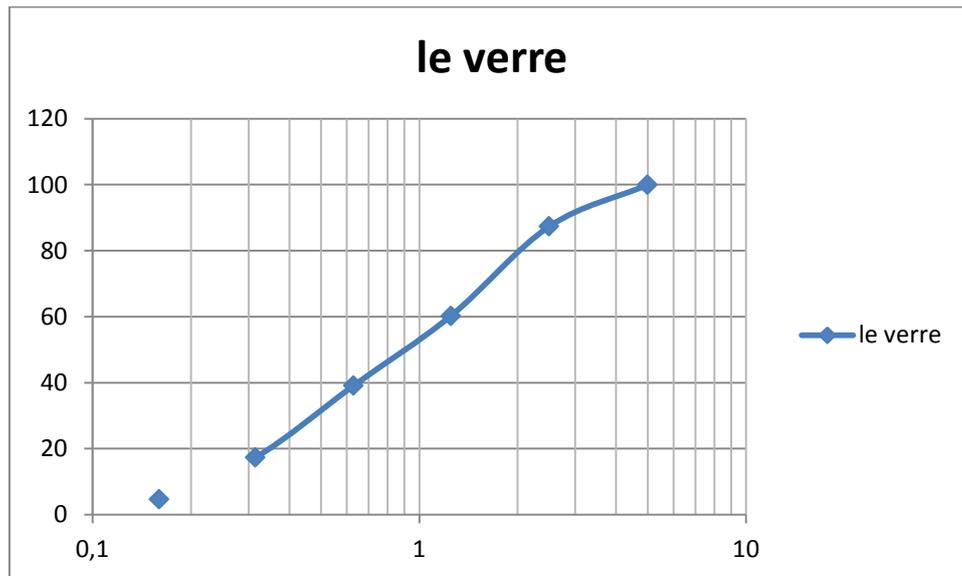


Figure-IV- 3: Analyse granulométrique de verre

IV-2-1-4-La correction des sables

$S1\% = \frac{MF - MF2}{MF1 - MF2} \times 100 = 25\%$ $S2\% = \frac{MF1 - MF}{MF1 - MF2} \times 100 = 75\%$

- $2,9 - Mf = 0,75 \times (2,9 - 2,7) ;$
- $Mf = -0,75(2,9 - 2,7) + 2,9 ;$
- $Mf - 2,7 = 0,25(2,9 - 2,7)$
- $Mf = 0,25 \times (2,9 - 2,7) + 2,7$
- $Mf = 2,75$ Donc il est acceptable

IV-2-1-5-analyse granulométrique de GRAVIER 3 /8

Tableau 9:Analyse granulométrique de gravier 3/8

Tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
8	348.4	348.4	17.42	1651.6	82.58
6.3	1043.3	1391.7	69.585	608.3	30.415
5	496.1	1887.9	94.395	112.1	5.605
4	104.5	1992.3	99.615	7.7	0.385
3.15	7.7	2000	100	0	0
Fond	0.0	2000	100	0	0

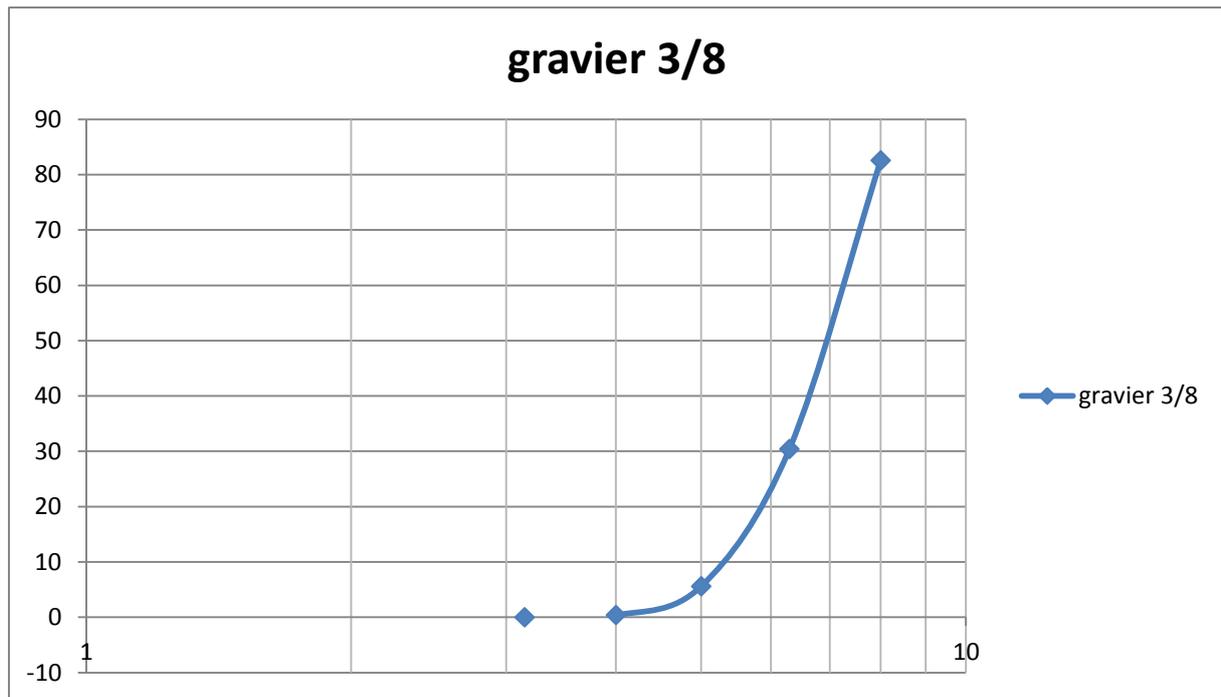


Figure-IV- 4: Analyse granulométrique de gravier 3/8

- $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{76}{66} = 1.16$
- $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = \frac{6,5^2}{66 \cdot 76} = 1.00$

Commentaire

- $Cu = 1,16$ ----- $Cu < 3$ _ La granulométrie est uniforme ;
- $Cc = 1,06$ ----- $Cc < 3$ _ La granularité dite mal gradué indique l'absence de certains diamètre entre les diamètres D10 et D60 .

IV-2-1-6-analyse granulométrique de GRAVIE 8 /16

Tableau 10 : Analyse granulométrique de gravier 8/16

Tamis	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisa cumulé (g)	Tamisa cumulé (%)
16	17.8	17.8	0.89	1982.2	99.11
8	1764.1	1781.9	89.095	218.1	10.905
6.3	152	1933.9	96.695	66.1	3.305
5	42.7	1976.6	98.83	23.4	1.17
4	16.4	1993	99.65	7	0.35
3.15	5	1998	99.9	2	0.1
Fond	2	2000	0	0	0

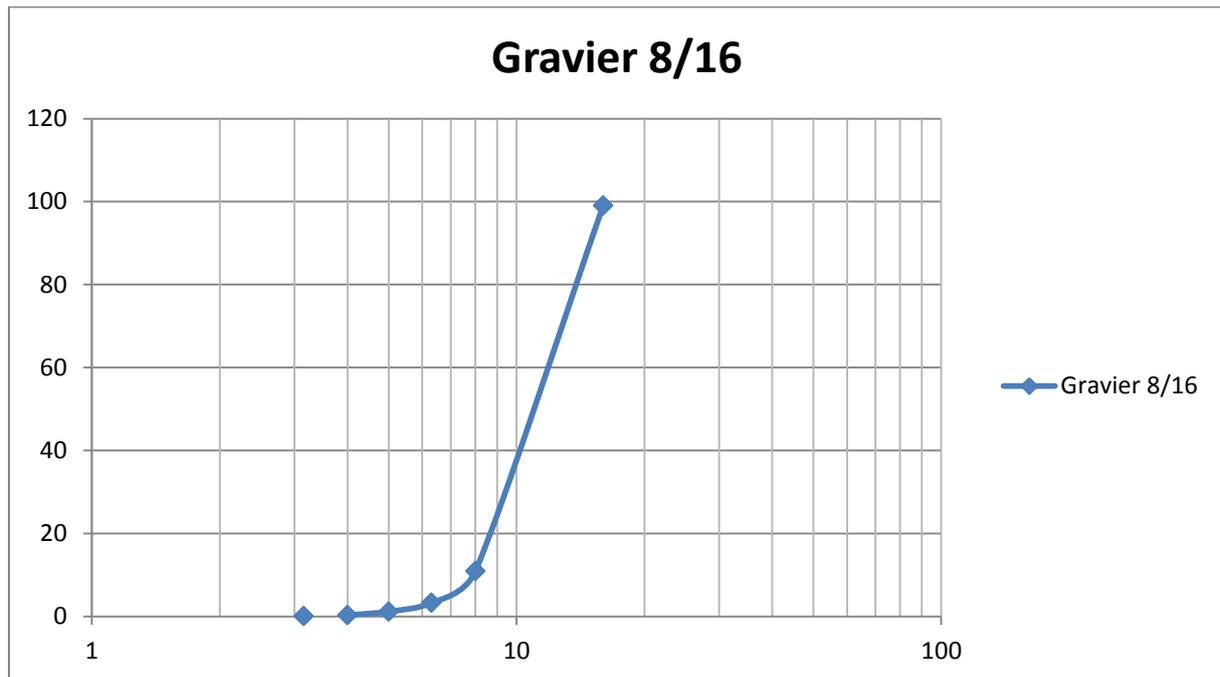


Figure-IV- 5: : Analyse granulométrique de gravier 8/16

- $C_u = D_{60}/D_{10} = 138/8 = 1.62$
- $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60}) = 10^2 / (8 * 138) = 0.96$

Commentaire

- $C_u = 1,66$ ----- $C_u < 3$ _ La granulométrie est uniforme ;
- $C_c = 1,06$ ----- $C_c < 3$ _ La granularité dite mal gradué indique l'absence de certains diamètre entre les diamètres D10 et D60.

IV-2-2-Tableau des résultats de masse volumique et apparente pour les granulats

Granulats	La masse volumique apparente (g/cm^3)	La masse volumique absolue (g/cm^3)
Sable de carrier	1,84	
Gravier 3/8	1,84	2,5
Gravier 8/16	1,44	2,22
Verre		1,56

IV-2-3-Teneur en eau

IV-2-3-1-Pour le sable de mer

- $M_h = 1000g$
- $M_s = 980g$
- $W = 1000 - 980 \times 100$
- $W = 2.04$

IV-2-3-2-Pour le sable de carrier

- $M_h = 1000g$
- $M_s = 970g$
- $W = 1000 - 970 \times 100$
- $W = 3.09$

IV-2-4-essai de foisonnement du sable de mer

IV-2-4-1- Tableau des résultats

Tableau 11:Foisonnement du sable de mer

Pourcentage (%)	1	3	4	7	9	10	12
Masse (g)	1412.33	1236.77	1184.55	1110.29	1121.29	1136.49	1173.13
Coefficient de foisonnement	1.41	0.54	0.42	0.26	0,2	0.18	0.14

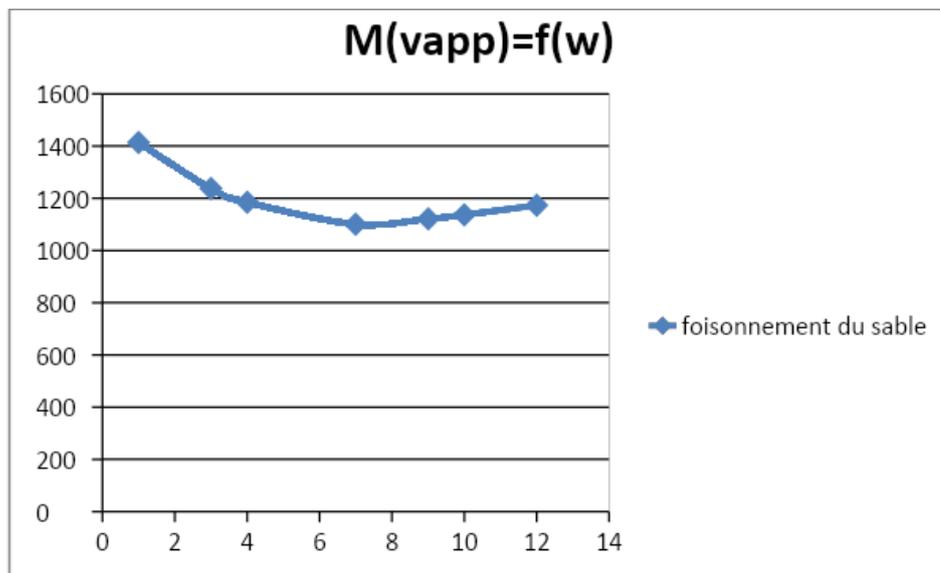


Figure-IV- 6: Foisonnement du sable

IV-2-5-résultats de cône d'Abrams

Tableau 12: résultats d'étalement cône d'Abrams

	Les résultats	Les remarques	commentaires
témoin	780mm	SF ₃	Très plastique, très humide et à maniabilité élevée
Série1	745mm	SF ₂	Plastique, à humidité moyenne et à maniabilité moyenne
Série2	750mm	SF ₂	Plastique, à humidité moyenne et à maniabilité moyenne
Série3	605mm	SF ₁	Ferme, très secs et peu maniable
Série4	650mm	SF ₁	Ferme, très secs et peu maniable

IV-2-6-résultats de stabilité au tamis

Tableau 13: Résultats stabilité au tamis

	Laitance (kg)	P(%)	Remarque
Témoin	0,542kg	12,04%	Béton homogène et stable
Série 1	0,654kg	14 ,53%	Béton homogène et stable
Série2	0,622kg	13,82%	Béton homogène et stable
Série3	0,453kg	10,06%	Béton homogène et stable
Série4	0,332kg	7,37%	Béton homogène et stable

IV-3- Les résultats à état durci

IV-3-1-résultats de l'essai d'absorption d'eau

Tableau 14:Les valeurs de coefficient d'absorption capillaire

	M_0 (Kg)	M_x (5g)	C_a (Kg)
Témoin	14,430	14,461	1,14
Série1	14,410	14,447	1,85
Série2	14,318	14,357	1,95
Série3	14,490	14,502	0,60
Série4	13,971	14,571	30

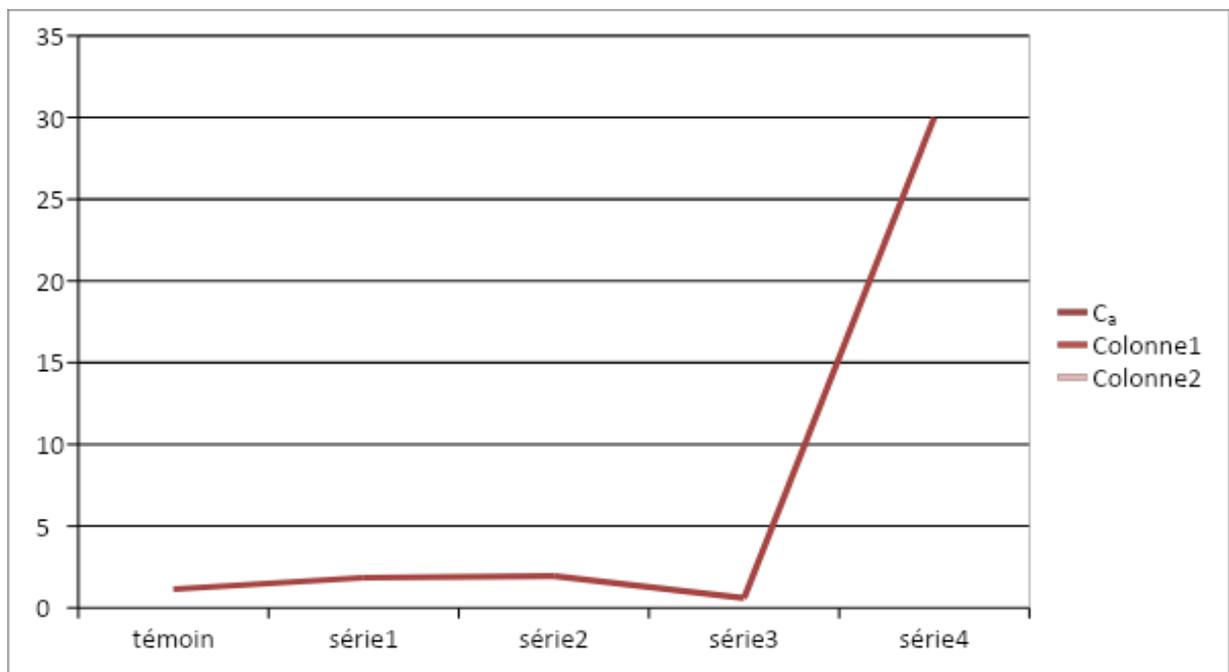


Figure-IV- 7:Courbe de l'essai d'absorption d'eau

IV-3-1-1-l'interprétation de l'essai absorption d'eau

La figure représente les valeurs de coefficient d'absorption d'eau capillaire, on remarque que la série 4 elle absorbe beaucoup d'eau.

IV-3-2-résultats de l'essai scléromètre

Tableau 15: les résultats de l'essai scléromètre

Les résultats	
Témoin	19,66MPa
Série1	25,5MPa
Série2	19,33MPa
Série3	14,66MPa

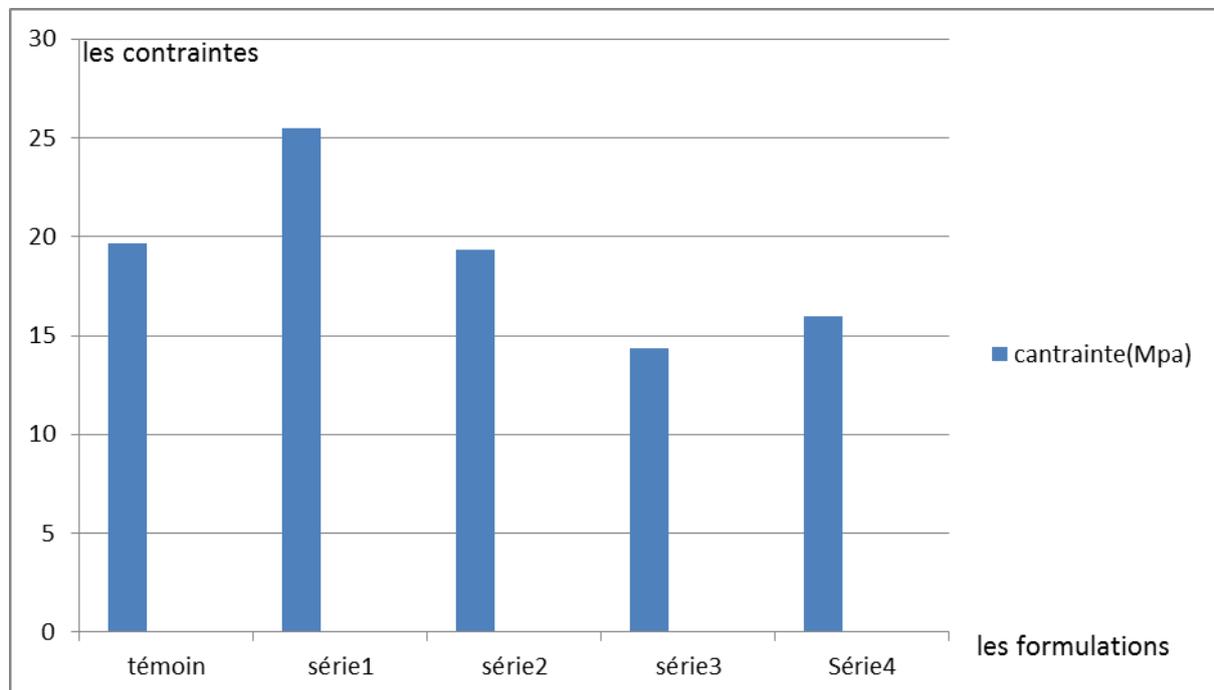


Figure-IV- 8:Histogramme présente les contraintes de l'essai scléromètre

IV-3-2-1-Interprétation de résultats

La figure représente les contraintes de cinq formulations étudiée.

Nous remarquons que la contrainte est plus importante dans la série1 de 5% marbre et 5% verre.

IV-3-3-résultats de l'essai d'ultrason

Tableau 16: Résultats de l'essai d'ultrason

La vitesse (m /s)	
Témoin	5410m/s
Série1	5155m/S
Série2	5226m/s
Série3	5030m/s
Série4	4798m/s

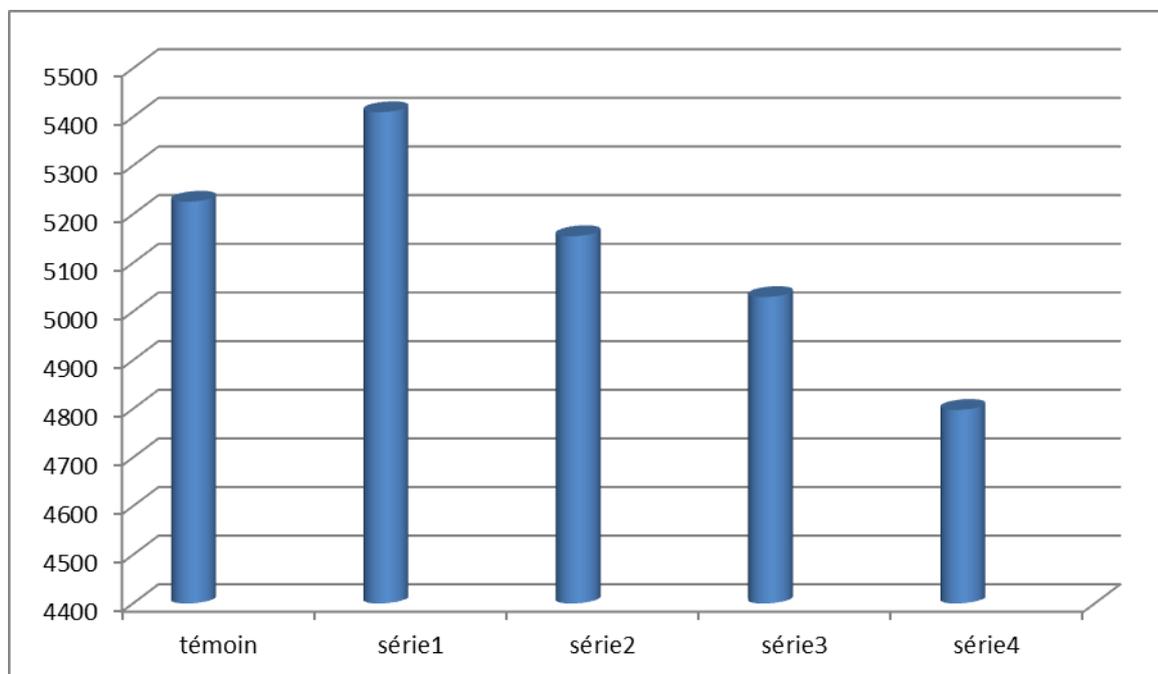


Figure-IV- 9: Histogramme de l'essai ultrason

IV-3-3-1-Interprétation des résultats

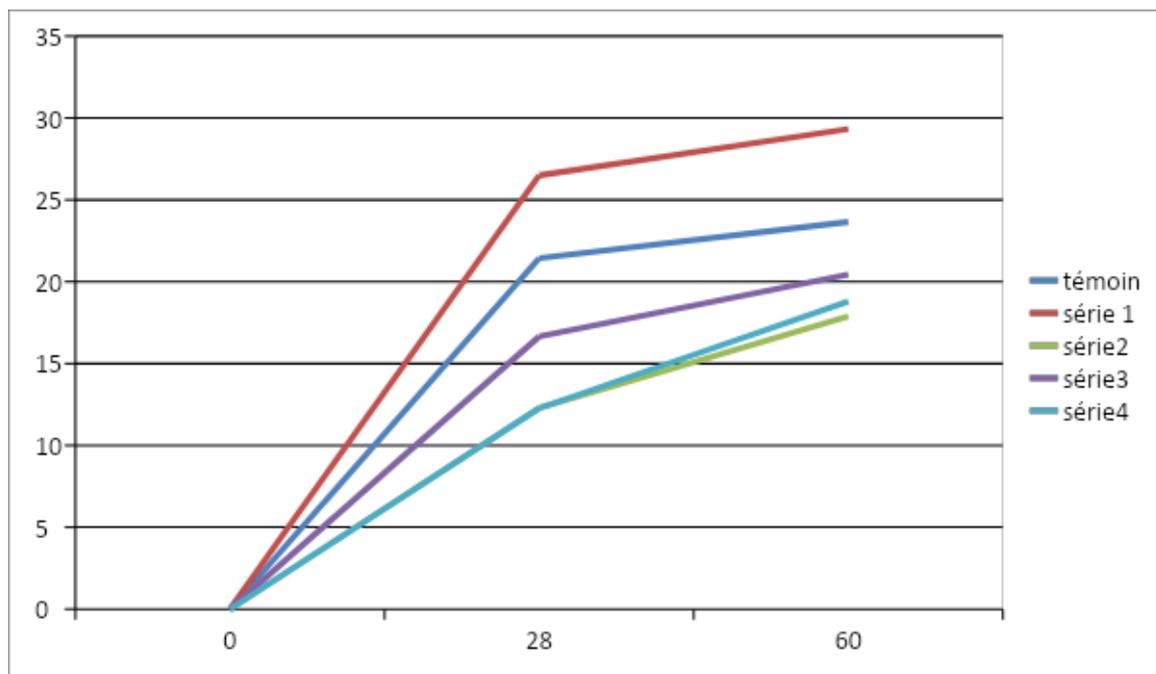
La figure illustre les résultats des vitesses de propagation du son à travers les cinq formulations élaborées.

Nous remarquons que la vitesse de propagation est supérieure à 4200 (m/s) pour les cinq formulations, ce qui correspond à un béton de très haute résistance, selon la norme [NF EN 12504-4].

IV-3-4-résultats de l'essai de résistance

Tableau 17: les résultats de résistance à la compression après 28 et 60 jours

	Résistance	
	28jours	60jours
Témoin	21,44MPa	23,65MPa
Série1	26,50MPa	29,32MPa
Série2	12,28MPa	17,88MPa
Série3	16,66MPa	20,43MPa
Série4	12,27MPa	18,79MPa

**Figure-IV- 10: Courbe de résistance à la compression après 28 et 60 jours****IV-3-4-1-Interprétation des résultats**

La courbe ci-dessus, représente les résultats de la résistance à la compression des éprouvettes pour âge (28 et 60 jours), nous remarquons que la résistance mécanique augmente en Fonction de l'âge de durcissement.

Nous constatons que la résistance à la compression est plus importante dans la série1 (5%marbre et 5% verre) par rapport aux autres formulations étudiés, selon la recherche bibliographique.

IV-4-Conclusion

D'après les résultats obtenus lors des essais expérimentaux sur nos bétons, nous pouvons faire la conclusion suivante :

Nous avons remarqué que la série 1 de 5% marbre 5% verre était la plus importante dans tous les essais et pour cela on peut déduire qu'elle est la plus efficace, ainsi que les résultats de BAP(témoin) sont intéressants, et la vitesse de propagation était supérieure à 4200 (m/s) pour toutes les formulations, ce qui correspond à un béton de très haute résistance, on voit aussi que l'augmentation de la quantité de marbre dans le poids ciment permet d'absorber l'eau en grande quantité .

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce sujet d'étude nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la technologie de béton Auto plaçant à base des déchets, et notre objectif était de concrétiser la recherche bibliographique qui vise à étudier les propriétés de BAP contenant des pourcentages différents de poudre de marbre et sable du verre en remplaçant dans le poids de ciment et du sable.

D'après cette étude qui nous a permis nous ont permis d'aboutir aux conclusions

Suivantes :

La série1 qui contient 5%de verre 5% de marbre à développer des résistances supérieures par rapport à celle d'un BAP témoin et les autres séries.

Toute les séries étudiées donne une vitesse supérieure à 4200 ce qui donne béton de très haut résistance.

La résistance à compression de la série1 est la plus importante à travers de 28 et 60jours.

Les résultats ont montré qu'une augmentation de 5% de marbre et 5% de verre en remplacement partiel du ciment et du sable nous donne une amélioration des propriétés du BAP dur .ou le pourcentage d'augmentation des essais à l'état durci est d' environ 3% par rapport au mélange de référence , tandis que les propriétés du béton se détériorent en ajoutant des pourcentages plus élevés ,

Références bibliographique

- [1] Université Akli Mohand Oualhadje de Bouira Faculté des sciences et sciences appliquées
Département : physique 2 ème année licence Génie Civil . Année : 2013-2014
- [2] B. S. e. B. Fatouma, La valorisation de sable de dune (sable de Naama) -Durabilité et comportement mécanique, 2017.
- [3] Aggarwal L.K, Bagasse-reinforced Cement Composites Cement and concrete composite, 1995.
- [4] B. I. e. B. Abdessamie, Etude de la durabilité des bétons léger fibrés à base des granulats pouzzolaniques sous l'effet de la température, 2017.
- [5] M. T. KARINA, Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers.
- [6] B. I. e. B. Abdessamie, Etude de la durabilité des bétons léger fibrés à base des granulats pouzzolaniques sous l'effet de la température, 2017.
- [7] M. -. Khelifa, ormulation et caractérisation déco –bétons renforcés aux fibres d'alfa pour des bâtiments verts et durables, Université Ferhat Abbas Sétif / Université Paris Seine – Université Cergy-Pontoise, 2017.
- [8] M. z. e. a. kameche, Béton à Haute Performance (B.H.P.), Aïn Temouchent, 2018.
- [9] Conference: Matériaux Sols et Structures MS2 2007At: Hammamet, Tunisia Volume: pp. 25-31
- [10] Matériaux innovants et durabilité Par Walid LAIFA DEVANT LE JURY . BADJI MOKHTAR–ANNABA UNIVERSITY
- [11] F. de Larrard, Structures granulaires et formulation des bétons, Etudes et Recherches des laboratoires des ponts et chaussées, OA 34.
- [12] DÉVELOPPEMENT DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À HAUTES PERFORMANCES : INFLUENCE DE LA COMPOSITION Présentée par : Brahim NÉCIRA Soutenu publiquement le : 29/11/2018
- [13] PLAN GESTION MATIÈRES RÉSIDUELLES de des 2016 – 2020
- [14] LE TRAITEMENT ET LA GESTION DES DECHETS MENAGERS A LA REUNION : APPROCHE GEOGRAPHIQUE Florence Campan . Submitted on 15 Apr 2010
- [15] MEMOIRE DE MAGISTER .THEME COMPORTEMENT DES BETONS A BASE DE GRANULATS RECYCLES .Présentée par : Mlle SAADANI Sabrina . UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE

[16] mémoire de fin d'études .thème : caractérisation de la vase de dragage de l'oued Fodda et valorisation en tant que matériau de construction . Présenté par : Benasla Mohammed . 2014_2015 .

[17] Actu-Environnement © 2003 - 2021 COGITERRA - CNIL N°845317 - ISSN N°2107-6677

[18] AOS - Appels d'Offres Simplifiés .

[19] © 2021, ADEME — Agence de la transition écologique.

[20] © Copyright 2021 edi.ag .Webentwicklung – Muvacon .

[21] Actu-Environnement © 2003 - 2021 COGITERRA - CNIL N°845317 - ISSN N°2107-6677

[22] Centre National D'information Indépendante sur les déchets

[23] © Copyright 2019-2021- GRIFON | Comptoirs Granite Quartz Marbre Laval Montreal

[24] Wikipedia® est une marque déposée de la Wikimedia Foundation, Inc. , organisation de bienfaisance régie par le paragraphe 501(c)(3) du code fiscal des États-Unis.

[25] Par Arch & Home, publié le 27 avril 2017

[26] 2020 ® TOUS DROITS RÉSERVÉS. CONDITIONS D'UTILISATION ET POLITIQUE DE CONFIDENTIALITÉ. PROPOS DE CUPAGROUP.

[27] © Gouvernement du Québec, 2019

[28] © 2008-2021 ResearchGate GmbH. All rights reserved.

[29] © Verre Online 2004-2008

[30]©2001-2021 Futura-Sciences, tous droits réservés - Groupe MadeInFutura

[31] © 2021 FIV-VGI, all rights reserved

[32] L'école buissonnière de la technique © 2018 - 2021 Playhooky.fr

[33]© Création du site Internet et référencement : AppliBox

[34] © Copyright 2020 : African Pegmatite

[35] M. B. CHERIF, Influence des particules fines sur les caractéristiques mécaniques et le retrait d'un béton ordinaire, 2011.

[36] FEBELCEN .Partenaire d'infobeton .be

[37] © LafargeHolcim FRANCE 2021

[38] Copyright © 2020 Hébergé par eBS& Développé par WebServices

[39] Ciment & architecture © 2010

[40] Tout l'univers en aquariophilie d'AquaPortail (© 2006-2021) pour un aquarium durable.

[41] Droits d'auteur © 2021 Scribd Inc.

[42] © Ugocom / Paris – AvignonCréation Site Internet - Agence de Communication

[43] K. ABIR, l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons auto-plaçant à l'état frais et durci, Msila, Université Mohamed Boudiaf, 2015-2016.

[44] R. L. e. D. M. amine, influence des différentes granulométries des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire, boumerdes, Université de M'hamed bougera, 2016/2017.

Référence des figures

[1]<https://cutt.us/ojAMV>

[2]<https://cutt.us/G4Z3k>

[3]<https://cutt.us/RVffi>

[4]<https://cutt.us/badc3>

[5]<https://cutt.us/Oz4GT>

[6]<https://cutt.us/y5qGq>

[7]<https://cutt.us/aKUGG>

Les normes

1 . BNQ 2501-025

2. XP P 18-540

4. NFP 18-540

5. NF P 18-554

6. NF P 18-555

7. NF EN 933-8

8. NF EN 1008

9. NF P 18 -508

10. NF EN 12350-8

11. ISO 4110

12. NF-EN206-9

13. NF EN 12350-11

14. NF EN 13791/CN

15. NF EN 12504-4

16. NF EN 12390-3

Annexe

La fiche technique de l'adjuvant CHRYSO® Quad 820

Fiche technique

CHRYSO® Quad 820 Superplastifiant haut Réducteur d'eau



CHRYSO® Quad 820 est un Superplastifiant haut réducteur d'eau de dernière génération. Cet adjuvant fait appel à nos avancées les plus récentes dans la synthèse des molécules afin d'apporter :

- une large plage de dosage,
- un fort potentiel de réduction d'eau,
- du maintien d'ouvrabilité,
- une cohésion du béton.

CHRYSO® Quad 820 permet l'utilisation de sables difficiles. Cet adjuvant peut également être utilisé en combinaison avec d'autres produits de la gamme CHRYSO®.

Informations indicatives

- Nature : liquide
- Couleur : Brun vert
- Densité (20° C) : 1.075 ± 0.020
- pH : 4,50 ± 2,00
- Extrait sec (halogène) : 32.70 % ± 1.50 %
- Extrait sec (EN 480-8) : 32.70 % ± 1.50 %
- Durée de vie : 18 mois

Informations normatives et réglementaires

Ce produit satisfait aux exigences de la norme NF EN 934-2 « ADJUVANTS DU BÉTON ».

Domaines d'application

- Tous types de ciments
- BHP et BTHP
- Bétons plastiques, très plastiques, fluides
- Bétons pour ouvrages très ferrailés
- Bétons précontraints
- Dallages, sols industriels
- Coulis d'injection

Précautions

Stocker à l'abri du gel.
Eviter l'exposition prolongée à de fortes chaleurs. En cas de gel, ce produit conserve ses propriétés. Après dégel, une agitation efficace est nécessaire jusqu'à l'obtention d'un produit totalement homogène.

Mode d'emploi

Plage de dosage : 0.2 à 2.0 kg pour 100 kg de ciment.
Il est courant de doser ce produit à 0.8 % du poids du ciment. Ce produit doit être incorporé de préférence dans l'eau de gâchage ou en fin de malaxage.

Dans le cas d'un ajout différé sur béton frais, dans un camion toupie, il est nécessaire de malaxer à grande vitesse puis à vitesse lente (avec un minimum de 3 minutes, pour chaque régime).

L'efficacité maximale de ce produit doit être déterminée après des essais de convenance prenant en compte les caractéristiques rhéologiques et les performances mécaniques souhaitées pour le béton.

Sécurité

Ce produit est classé « sans danger ». En cas d'exposition, le port d'équipements de protection individuelle est recommandé.

Avant toute utilisation, consulter la fiche de données de sécurité (sur le site internet www.chryso.dz).

Les informations contenues dans la présente fiche technique sont l'expression de nos connaissances et de nos résultats d'essais effectués dans un souci constant d'objectivité. Elles ne peuvent cependant, en aucun cas, être considérées comme apportant une garantie ni comme impliquant notre responsabilité en cas d'application défectueuse ou d'utilisation de nos produits en dehors des stipulations du paragraphe « Application » de la fiche technique. Des essais en laboratoire et/ou sur site doivent être effectués par les utilisateurs et permettant ainsi de vérifier que les modes d'emploi et les conditions d'application données satisfaisent leurs attentes. Notre conseil technique se tient à la disposition des utilisateurs. Consulter la version la plus récente de la fiche technique, disponible sur www.chryso.dz.

SPA CHRYSO HYDIPCO - Lot N°68 Zone Industrielle Oued Smar - 16° - T. Alger - A.G.D.R.F.
Tel : +213 (0)23 91 03 00 - Fax : +213 (0)23 93 62 76 - email : info@chryso.com

Page 1/1



23/06/2019

La fiche technique du ciment



SCIBS

Groupe Industriel des Ciments d'Algérie

Société des Ciments de Béni Saf "S.C.I.B.S"

Gérée au titre d'un mandat de gestion par le Groupe Pharaon Commercial Investment Group Limited

Spa au capital social : 1.800.000.000 DA ش.ذ.ا.ر. - رأس مالها الاجتماعي

RC N° 0969420B05 L.F N° 099846084203346 N° Article d'Imposition : 46232600011

Fiche technique

DESIGNATION : Ciment CEM II/A-P 42.5N

REFERENCE : Ciment expédié durant le mois du Janvier 2019

1. SPECIFICATION

Essais physico Mécanique	Valeurs Mesurées	Norme NA 442/2013
SS Blaine Cm ² /g	3466	-
Consistance %	25.98	-
Début de prise (mn)	168	≥ 60 mn
Compression 02 jours (N/mm ²)	14.33	≥ 10.0
Compression 07 jours (N/mm ²)	30.51	-
Compression 28 jours (N/mm ²)	45.68	≥ 42.5
Flexion 02 jours (N/mm ²)	3.29	-
Flexion 07 jours (N/mm ²)	5.49	-
Flexion 28 jours (N/mm ²)	7.09	-
Expansion à chaud sur pâte (mm)	0.70	≤ 10 mm

Composition chimique ciment (%)	Valeurs Mesurées	Norme NA 442/2013
Perte au feu	1.83	-
CaO libre	1.03	-
SiO ₂	28.68	-
Al ₂ O ₃	5.56	-
Fe ₂ O ₃	3.11	-
CaO	56.64	-
MgO	1.08	-
SO ₃	1.98	≤ 3.5
Chlorures	0.035	≤ 0.1
Insolubles	8.56	-

2. DOMAINE D'UTILISATION LE CIMENT

CEM II/A-P 42.5N :

Ce ciment est plus couramment utilisé dans :

- Travaux nécessitant une résistance initiale élevée (Décoffrage rapide).
- Béton en élévation, armé ou d'ouvrage courant.
- Fondations ou travaux souterrains en milieux non agressifs.
- Dallages, sols industriels.
- Maçonneries
- Stabilisation des sols

3. DISPOSITION PARTICULIERE :

Mode de Stockage du ciment

Le ciment est conservé dans des silos en béton étanches à des températures comprises entre 40 et 50 °C quand le ciment est frais.

Mode de livraison :

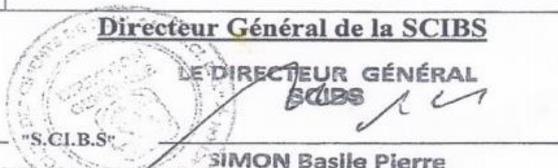
- En sacs de 50 kg par camions et wagons scellés
- En vrac par camions citernes (cocottes) et wagons citernes scellés

Emballage :

Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis munis d'une valve permettant le remplissage du ciment par injection. Le système de fermeture garantit l'inviolabilité du sac

4. RECOMMANDATIONS POUR L'EMPLOI :

- Il est recommandé de stocker le ciment dans des endroits étanches secs.
- Lors des travaux en saisons chaudes, arroser régulièrement le béton.
- Utiliser des agrégats propres (sable, gravier)
- Respecter le dosage ciment - eau - agrégats.
- Utiliser un vibreur ou (toute autre machine) lors des coulées de grande masse.



Directeur Général de la SCIBS

LE DIRECTEUR GÉNÉRAL
SCIBS

SIMON Basile Pierre

Adresse Siège social : Sidi Sohbi Beni Saf Wilaya de Ain Témouchent Algérie

Tél. : (213) 43.64.59.71 & (213) 43.64.59.76 / Fax : (213) 43.64.39.74

Site Web : www.scibs-dz.com / E-mail : dg.scibs@scibs-dz