

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département de Génie Des Matériaux

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme Master

Spécialité : Génie de matériaux

Option : Contrôle qualité des matériaux

THEME

Valorisation de la poudre de verre dans un béton ordinaire destiné

Pour la précontrainte

Réalisé Par :

CHABI Makhlof

LAMALI Bilal

Suivi par :

Mr. TAZROUT Mansour

Encadreurs :

BELKADI Mourad

AROUS Mohammed

2016/2017

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

- *La mémoire de Mon père*
- *Ma très chère mère*
- *Mes chers frères : OMAR, Mohamed, Khaled Walid*
- *Mes chères sœurs : Hafida, Chafiaa, Bachira, Rebiha, Noura, Zouina*
- *Et leurs enfants : Ycine, Ali, Israa, Aya, Horia, Ayoub, Hiba, Rabeh, Marwa, Fyçal, Slimane*

A toute la famille LAMALI

- *Touts mes Amis et touts le groupe « MCQ15 », génie des matériaux*
- *Mon Binôme : CHABI Makhlouf*

BILAL

DEDICACE

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

Ma très chère mère merci pour avoir veillé sur moi, Mon très chère père rien qu'en regardant dans tes yeux je devine l'amour sans limite que tu me réserves merci aussi.

Sans oublier mes frères : Abdelouhad ; Aymen ; Djaoued, et ma sœur Maroua et toute ma famille.

Mes Copains surtout : Walid, Oussama, Sid Ali, Rabah, Youcef, Anes, Hamza, Fares, Redouane et sans oublier aussi mon groupe « MCQ15 » et toute les gens que j'ai connu à la fac.

A mon très cher binôme Lamali Bilal et sa famille.

Makhlouf

Sommaire

Présentation de l'entreprise	1
Introduction générale	1
I-Généralités sur les bétons et ses constituants	3
1-Introduction.....	3
2-Rôle des différents éléments constituant le béton.....	4
Ciment:	4
L'eau:	4
Le sable:	4
Les plastifiants:	4
3-Classification du béton	4
4-Les constituants du béton	5
4-1- Le ciment.....	5
4-2- L'eau de gâchage	6
4-3- Les adjuvants.....	7
4-4-Les granulats pour le béton	8
5- Caractéristiques des granulats	10
6- Le choix des granulats selon le type de béton	11
Conclusion.....	11
I-3-Le béton précontraint.....	12
1- Introduction	12
2- Mode de précontrainte	13
2-1-Précontrainte par pré-tension	13
2-2-Précontrainte par post-tension.....	13
2-3-Avantages et inconvénients.....	14
Avantages	14

Inconvénients	14
II-Les ajouts cimentaires	15
1-Généralités	15
2-Origine et classification.....	16
3- Rôle des ajouts minéraux actifs	16
➤ Cendres volantes	16
➤ Laitier.....	17
➤ Fumée de silice.....	17
➤ Le marbre.....	18
III-Le verre	
1-Introduction	20
2-Définition	20
3-Structure du verre	20
4-Composition chimique du verre	21
5-Les propriétés du verre.....	21
5-1-Propriétés mécaniques	21
➤ La dureté.....	22
➤ L'élasticité.....	22
➤ Résistance mécanique.....	22
➤ Résistance à la flexion.....	23
➤ La densité.....	23
6-La poudre de verre dans les bétons.....	23
6-1- La réaction pouzzolanique	24
6-2- Effet de la poudre de verre sur l'état durci	24
6-3- Effet du verre sur la durabilité	25
IV-Les propriétés des bétons	27
1- Les propriétés des bétons à l'état frais	27

1-1-Ouvrabilité.....	27
Définition de l'ouvrabilité	27
Mesure de la maniabilité du béton	27
Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS	27
1-2-Masse volumique	29
2-Les propriétés des bétons à l'état durci	29
Introduction	29
2-1-Résistances mécaniques.....	30
Essais destructifs.....	30
Résistance en traction	30
a)Résistance en traction directe	30
b) Résistance en traction par fendage.....	30
Essais non destructifs	31
Les ultrasons	32
I-Méthodologie et objectif de travail	33
II-Etude et contrôle des constituants.....	34
II-1- le ciment.....	34
➤ Pour le ciment 42.5 : Provenant de la cimenterie de GICA ALGERIE.	34
Détermination de la consistance normale.....	37
Caractéristiques physico-mécaniques du ciment	37
➤ POUR LE CIMENT 52.5 : Provenant de la cimenterie de LAFARGE ALGER ..	39
Détermination de la consistance normale.....	41
Caractéristiques physico-mécaniques du ciment	42
II-2-La poudre de verre	43
II-2-1-Les caractéristiques physico-chimiques de la poudre de verre :.....	43
II-2-2-Les caractéristiques physiques de la poudre de verre	45
II-3-SABLE ET GRAVIER	46

A-Sable 0/3 de KADDARA.....	46
B-Gravier 3/8 de KADDARA	48
C-GRAVIER 8/15 (KADDARA).....	49
D-GRAVIER 15/25 (KADDARA)	50
II-4- Eau de gâchage	50
II-5- L'adjuvant.....	51
Description	51
Propriétés et effets	51
Domaines d'application	52
Dosage	52
Mode d'emploi.....	52
Conclusion	52
Méthode pratique pour la composition des bétons,	53
I- Le ciment 42.5	53
Dosage en ciment et en eau.....	53
II- Le ciment 52.5	57
Résistance visée	57
Dosage en ciment et en eau.....	58
Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite.....	59
Dosage en masses de chaque constituant	60
IV-Propriétés des bétons	63
IV-1-L'affaissement.....	63
A-Béton avec poudre de verre transparent.....	63
B-Béton avec poudre de verre opaque	64
IV-2- La masse volumique	64
A-Béton avec poudre de verre transparent	65
B-Béton avec poudre de verre opaque	67
IV-3-La résistance à la compression.....	68

A-Pour les bétons avec ajout de la poudre de verre transparent	69
B-Pour les bétons avec ajout de poudre de verre opaque	71
IV-4-La résistance à la flexion :	73
IV-5-La résistance à la traction par fendage :(selon la norme NF P 18-434)	74
A-Béton en poudre de verre transparent	75
➤ Pour la flexion	76
➤ Pour la traction par fendage	76
B-Béton en poudre de verre opaque	77
➤ Pour la flexion :	78
➤ Pour la traction par fendage :	79
IV-6-L'essai d'ultrason : (selon la norme EN 12504-4)	80
A-L'ultrason et module d'élasticité des bétons avec PV TR	80
B-L'ultrason et module d'élasticité PV OP	83
IV-7-Aspect macroscopique	85
Conclusion générale	86
Perspectives	88

Liste des tableaux

Tableau I. 1 . La teneur des constituants des béton en poids et en volume.....	3
Tableau I. 2 . La composition de ciment portland	5
Tableau I. 3 . Teneurs massiques des principaux composés	6
Tableau III. 1 . Composition chimiques de quelques verres [16]	21
Tableau IV. 1 .Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	28
Tableau V. 1 .Composition chimique du ciment 42.5	34
Tableau V. 2 .Composition minéralogique du ciment 42.5.....	36
Tableau V. 3 .Consistance normale du ciment 42.5	37
Tableau V. 4 .Les caractéristiques physiques du ciment 42.5.....	37
Tableau V. 5 .Les caractéristiques mécaniques du ciment 42.5.....	38
Tableau V. 6 .Composition chimique du ciment 52.5	39
Tableau V. 7 .Composition minéralogique du ciment 52.5.....	40
Tableau V. 8 .Consistance normale du ciment 52.5	41
Tableau V. 9 .Résistances mécaniques du mortier témoin du ciment 52.5	42
Tableau V. 10 .Les caractéristiques physiques du ciment 52.5	42
Tableau V. 11 .Composition chimique du verre	43
Tableau V. 12 .Caractéristiques physiques de la poudre de verre	45
Tableau V. 13 .Caractéristiques physiques :	46
Tableau V. 14 .Analyse granulométrique.....	47
Tableau V. 15 .Caractéristiques physiques	48
Tableau V. 16 .Analyse granulométrique du gravier 3/8 de KADDARA.....	48
Tableau V. 17 .Caractéristiques physiques	49

Tableau V. 18. Analyse granulométrique	49
Tableau V. 19. Caractéristiques physiques	50
Tableau V. 20. Analyse granulométrique	50
Tableau V. 21. Dosage en masses des constituants pour 1 m ³ de béton.....	57
Tableau V. 22. Dosage en masses des constituants pour 1 m ³ de béton.....	60
Tableau V. 23. Composition des bétons	61
Tableau V. 24. Masse volumique aux états frais et durci.....	65
Tableau V. 25. Masse volumique aux états frais et durci.....	67
Tableau V. 26. La résistance à la compression des différents bétons.....	69
Tableau V. 27. La résistance à la compression des différents bétons.....	71
Tableau V. 28. La résistance à la flexion et à la traction par fendage	75
Tableau V. 29. La résistance à la flexion et à la traction par fendage	77
Tableau V. 30. L'ultrason et module d'élasticité	80
Tableau V. 31. L'ultrason et module d'élasticité	83

Liste des figures

Figure. I. 1. Adjuvants liquide de gauche à droite : agent anti-lessivage , réducteur de retrait , réducteur d'eau ,agent moussant , inhibiteur de corrosion et agent entraîneur d'air	7
Figure. I. 2. Les étapes de réalisation de la précontrainte par pré-tension	13
Figure. I. 3. Les étapes de réalisation de la précontrainte par post-tension.....	14
Figure. II 1. Ajouts cimentaires de gauche à droite : cendres volants, métakaolin, fumée de silice, cendres volantes, laitier et schiste calciné	15
Figure II. 2. Micrographie de cendres volants au microscope électronique à balayage	17
Figure II. 3 . Poudre de fumée de silice.....	18
Figure V. 1. Composition chimique du ciment 42.5	35
Figure V. 2 . Composition minéralogique du ciment 42.5	36
Figure V. 4. Composition minéralogique du ciment 52.5	41
Figure V. 5: Composition chimique du verre transparent	44
Figure V. 6. Composition chimique du verre opaque	45
Figure V. 7. Courbe granulométrique	55
Figure V. 8. L'essai de l'affaissement (cône d'ABRAMS)	63
Figure V. 9. L'affaissement en fonction du pourcentage de la poudre de verre au cône d'ABRAMS.....	63
Figure V. 10. L'affaissement en fonction de pourcentage de poudre de verre au cône d'ABRAMS.....	64
Figure V. 11. Masse volumique aux états frais et durci des bétons avec PV transparent	66
Figure V. 12. Masse volumique aux états frais et durci avec PV opaque	68
Figure V. 13. Conservation des éprouvettes dans l'eau potable (gauche) , la presse de compression (droite)	69

Figure V. 14. L'évolution de la résistance à la compression avec l'age du béton pour le ciment 42.5.....	70
Figure V. 15. L'évolution de la résistance à la compression avec l'âge du béton pour le ciment 52.5.....	70
Figure V. 17. L'évolution de la résistance à la compression avec l'âge du béton pour le ciment 52.5.....	72
Figure V. 16. L'évolution de la résistance à la compression avec l'âge du béton pour le ciment 42.5.....	72
Figure V. 18. Mode de fissuration des éprouvettes.....	73
Figure V. 19. La presse de flexion	73
Figure V. 20. Eprouvette soumis à l'essai de traction par fondage	74
Figure V. 21. L'évolution de la résistance à la flexion avec l'age du béton pour le ciment 42.5	76
Figure V. 22. L'évolution de la résistance à la flexion avec l'âge du béton pour le ciment 52.5	76

Résumé

Résumé

L'utilisation des ajouts cimentaires dans le béton est devenue de plus en plus une approche économique et environnementale incontournable dans le domaine de la construction.

Par leur substitution au ciment Portland, ils peuvent améliorer les propriétés à l'état frais et durci du béton ainsi que la durée de vie des ouvrages. La disponibilité, le coût et le transport de certains ajouts cimentaires ont un impact écologique et économique. Pour éviter toute augmentation de gaz à effet de serre lié au transport, l'utilisation de certains matériaux cimentaires alternatifs locaux peut être une avenue intéressante à considérer.

Dans cette étude, nous avons utilisé le verre finement broyé comme ajout alternatif par addition de 10, 20 et 30% de ciment. Tous les mélanges de pâtes et de béton ordinaire sont préparés avec un rapport E/L de 0,38.

L'objectif est d'étudier les propriétés des mélanges à l'état frais, à l'état durci ainsi que la durabilité des bétons ordinaires incorporant le verre finement broyé. Les résultats montrent que, le verre finement broyé n'affecte pas les propriétés à l'état frais des mélanges. L'amélioration des propriétés mécaniques est très marquée dans le temps, les gains de résistance en compression, en traction, en flexion ainsi que l'amélioration du module d'élasticité sont significatifs dans les bétons incorporant le verre finement broyé. La réaction pouzzolanique des particules de verre broyé est plus lente à jeune âge par rapport aux autres ajouts cimentaires tel que, la fumée de silice ou bien le métakaolin. Le gain de la résistance en compression des bétons incorporant le verre finement broyé augmente à long terme.

On peut dire qu'il est possible de produire un béton ordinaire incorporant la poudre de verre comme ajout cimentaire alternatif local dans le développement durable.

Mots clés : État frais, État durci, durabilité, verre finement broyé.

ملخص

أصبح استخدام الإضافات الإسمنتية في الخرسانة أكثر نهج اقتصادي و بيئي أساسي في مجال البناء بواسطة البديل لاسمنت بورتلاند، فإنها يمكن تحسين خواص الخرسانة الطازجة والصلبة وحياة الهياكل. توافر وتكلفة و نقل بعض الإضافات الإسمنتية لها تأثيرا بيئيا واقتصاديا. لتجنب أي زيادة في الغازات المسببة لنقل، واستخدام بعض المواد الأسمنتية البديلة المحلية يمكن أن يكون وسيلة مهمة للنظر فيها.

في هذه الدراسة، استخدمنا الزجاج المطحون ناعما كإضافة بديلة بإضافة 10 و 20 و 30% من الزجاج بالنسبة لكمية الاسمنت.

الهدف هو دراسة خواص المخاليط الطازجة و الصلبة، ومثانة الخرسانة العادية المدمجة مع الزجاج المطحون . وأظهرت النتائج أن الزجاج المطحون لا يؤثر على خصائص الخليط الطازج.

تحسن الخواص الميكانيكية واضح جدا مع مرور الوقت، وتحقيق مكاسب القوة الضاغطة والجر، والانحناء وتحسين معامل المرونة الذي يكون كبير في الخرسانة المدمجة مع الزجاج المطحون.

نستطيع القول أنه من الممكن إنتاج الخرسانة العادية و استعمال مسحوق الزجاج العادي كإضافة أسمنتية بديلة محلية في التنمية المستدامة.

الكلمات الرئيسية: الحالة الطازجة، الحالة الصلبة، الصلابة، الزجاج المطحون.

Présentation de l'entreprise

Présentation de l'entreprise

L'historique de l'Entreprise Nationale des Grands Ouvrage d'Art, est caractérisé par les dates clés rappelées ci après.

1968 : Création de la Société Nationale des Travaux Routiers, **SONATRO**.

1983 : Restructuration de la SONATRO et création de l'ENGOA le 12 Mars 1983.

1991 : ENGOA change de statuts pour devenir EPE/SPA .Son capital social initial de 10 000 000 DA a été augmenté pour être porté à 3.640.000.000 DA en 2007

1998 : ENGOA absorbe SNOA (Société Nationale d'Ouvrages d'Art) le 31-12-1997

L' E . P . E - S . P . A / ENGOA est organisée selon un schéma d'organisation classique de type fonctionnel, «mono-unité».

L'E.P.E-SPA / ENGOA a pour domaines d'activités, les opérations d'études et de réalisation des ouvrages d'art de toute nature ainsi que les travaux de génie civil s'y rapportant : Viaducs, Tunnels, Passages, Souterrains, Passerelles, Barrages, Structures à étage et toutes autres constructions de nature socioculturelle et toute opération pouvant se rattacher directement ou indirectement à son objet, ou susceptible d'en faciliter l'extension ou le développement.

Procédés techniques de réalisation maîtrisés :

- Pont à poutre en béton armé
- Pont à poutre en béton précontraint
- Pont à dalle en béton précontraint
- Pont à culées en terre armés
- Pont mixte à poutres PRS
- En béton précontraint construit en encorbellement successif.
- Ouvrages préfabriqués(Trémie)
- Viaducs en caisson préfabriqué

Présentation de l'entreprise

DEVELOPPEMENT

Depuis sa création, l'ENGOA ne cesse d'innover et d'investir aussi bien dans l'acquisition des biens d'équipements que dans les technologies de réalisation.

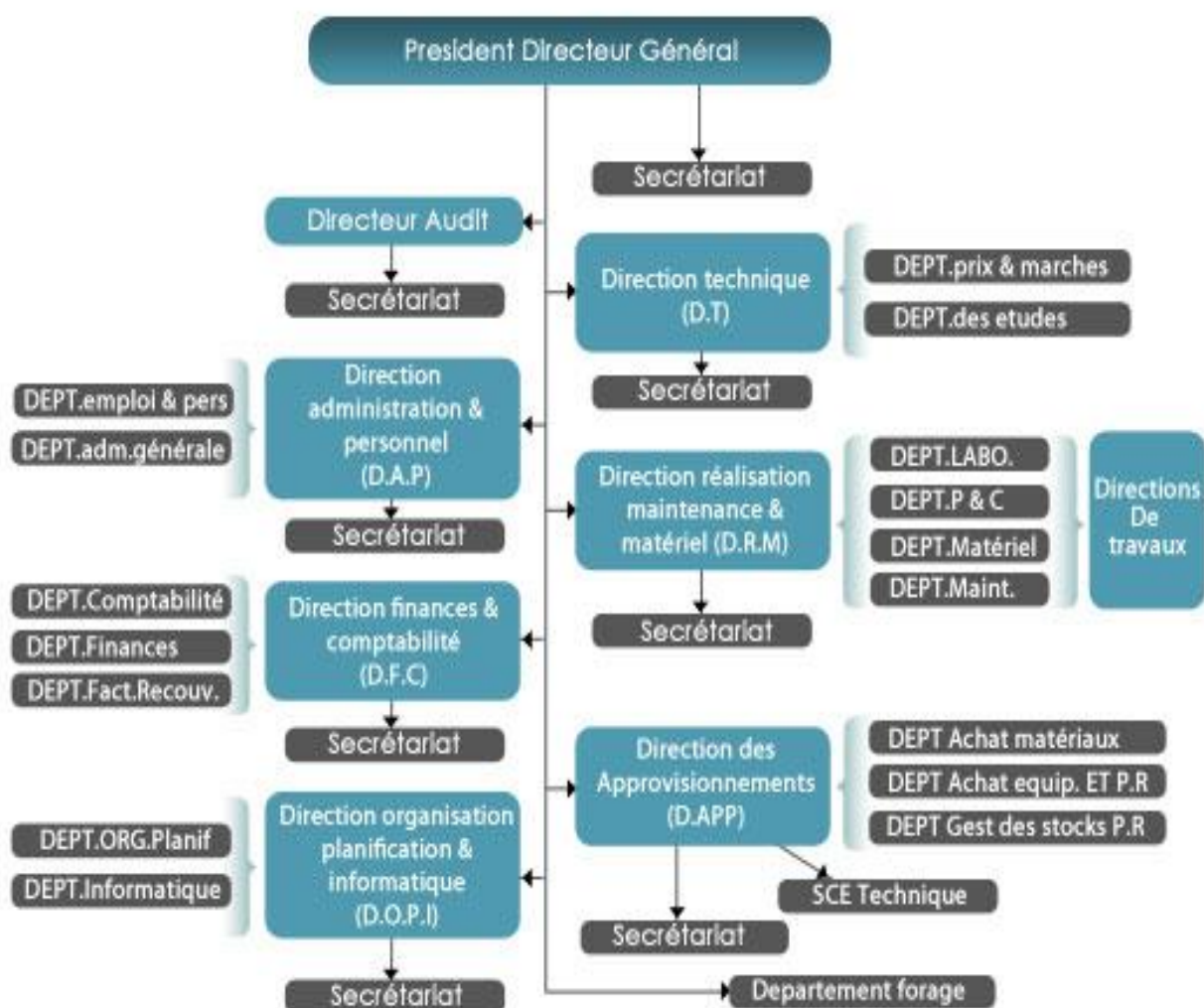
Aujourd'hui, l'ENGOA est associée à tous les projets –phares, et ils sont nombreux, dans le domaine des travaux publics.

Avec son expérience, elle est non seulement un des éléments clés de la réalisation du méga chantier de l'Autoroute Est-Ouest, mais est un acteur majeur de la mutation que connaît le transport urbain, pour absorber la croissance continue du flux automobile dans les grandes villes et réduire les contraintes et engorgement, tout en préservant l'environnement urbain, l'ENGOA a étendu sa maîtrise aux ouvrages en milieu fermé.

Raison sociale :	L'Entreprise Nationale des Grands Ouvrage d'Art, ENGOA
Siège social :	Zone industrielle Réghaia , Wilaya d'Alger
Téléphone :	021.81.65.50 - 021.81.27.90
Fax :	021.81.31.52
E. mail :	engoa2005@yahoo.fr
Statut :	Société par action, SPA/ Secteur Travaux Publics
Capital social :	3 640 000 000 DA
Actionnaires :	SGP Travaux Publics - SINTRA
Objet social :	Etudes et réalisation d'ouvrages d'art.
PDG :	Monsieur BIREM Tarik

Présentation de l'entreprise

ORGANIGRAMME :



■ LEGENDE :

- > D.A Direction audit
- > D.T Direction technique
- > D.O.P.J Direction organisation planification & informatique
- > D.A.P Direction du personnel et de l'administration
- > D.R.M Direction de réalisation et de la maintenance
- > D.F.C Direction des finances et de la comptabilité
- > D.A Direction des approvisionnements

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La recherche vers des bétons de plus en plus performants se poursuit depuis les années 1980. On trouve dans le monde entier un nombre croissant de réalisations en Bétons Hautes Performances (BHP 60-80 MPa) puis Très Hautes Performances (BTHP 80-100 MPa) en particulier généralisées pour les ouvrages d'art. Les Bétons de Poudre Réactive (BPR) ou Béton à Ultra Hautes Performances (BUHP >150 MPa) présentent des propriétés remarquables de performances mécanique, mais aussi de durabilité. Mais ils ne sont sortis des laboratoires que pour des applications marginales. Ils restent des matériaux de construction chers et ne sont appliqués que dans un nombre restreint de pays. La première application mondiale est la passerelle piétonnière de Sherbrooke réalisée en 1997.

Les premières recherches sur le BPR sont françaises et canadiennes et datent des années 1990. Actuellement les pays employant ces bétons se basent sur les recommandations françaises (AFGC- SETRA), guide de conception français sur les BUHP, paru en 2002 et les adaptent aux conditions locales.

La difficulté principale pour une application plus large de ces bétons (outre leur prix) concerne la non existence de règles de dimensionnement des structures. Les études en laboratoire récentes s'orientent sur la résistance aux chocs et au feu de ces bétons et l'adaptation de leurs compositions aux ressources locales en granulats et ultrafines.

Si on s'intéresse à l'aspect développement durable, un BPR contient près de trois fois la quantité de ciment d'un béton ordinaire, et sa production génère donc trois fois plus de CO₂ et consomme trois fois plus d'énergie à la différence du béton ordinaire qui présente une très bonne résistance à la compression, par contre, il a une très mauvaise résistance à la traction.

La précontrainte a pour objectif, en imposant aux éléments un effort de compression axial judicieusement appliqué, de supprimer (ou fortement limiter) les sollicitations de traction dans le béton.

Grâce à ces avantages le béton précontraint est utilisé dans les ouvrages d'art et les bâtiments de dimensions importantes : il est d'utilisation courante pour les ponts et d'un emploi très répandu pour les poutrelles préfabriquées des planchers de bâtiments.

On le retrouve dans de nombreux autres types d'ouvrages, parmi lesquels nous citerons les réservoirs, les pieux de fondation et tirants d'ancrage, certains ouvrages maritimes, les barrages, les enceintes de réacteurs nucléaires...

L'incorporation des additions minérales est maintenant une technique importante en améliorant les propriétés du béton telle que la fluidité, la résistance, la durabilité, etc. ces additions minérales affectent de manière significative la rhéologie des matériaux cimentaires à l'état frais, qui est directement relié avec le développement de la résistance, la durabilité des matériaux durcis.

INTRODUCTION GENERALE

Néanmoins, pour profiter pleinement de ces avantages et ainsi choisir la meilleure solution permettant d'optimiser la formulation, il est nécessaire de connaître les caractéristiques de ces nouveaux composants (additions minérales et adjuvants) et leurs actions sur les propriétés des bétons.

Par conséquent, plusieurs questions se posent :

L'ajout d'un tel constituant à-t-il une influence sur les rôles de base des autres et comment peut-il modifier le comportement d'une matrice cimentaire ? Pour y répondre, il faut avoir une bonne compréhension des effets propres de chaque composant et des interactivités.

L'objectif de notre étude est d'évaluer expérimentalement la compatibilité (l'adéquation) entre les constituants de base des bétons avec ajout de poudre de verre opaque et transparent.

Influence de la poudre de verre sur les performances des bétons : d'abord on a étudié l'impact de la poudre pour différents taux d'addition (influence du type et du taux des additions sur l'écoulement), masse volumique, les résistances mécaniques (compression, traction et flexion) pour différentes échéances. (7, 28 Jours).

Ce mémoire s'articule sur cinq chapitres :

- Le premier chapitre renferme des généralités sur les bétons ordinaires ainsi que les constituants adoptés pour leurs formulations et le béton précontraint.
- Le deuxième chapitre traite d'une explicitée sur les rôles des ajouts.
- Le troisième chapitre sur la poudre de verre et son influence dans les bétons qui est le sujet de notre travail.
- Le quatrième chapitre sur les propriétés des bétons a l'état frais et durci.
- Le cinquième chapitre résume les essais et les résultats des expériences réalisées durant notre étude.

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I :

Généralités sur les bétons

et ses constituants

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

I-Généralités sur les bétons et ses constituants

1-Introduction

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collés entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement un ciment portland. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1(eau) à 3 (ciment) t/m³. Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc.

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton HP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice).

De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m³.

Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant, présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I. 1 . La teneur des constituants des béton en poids et en volume

Constituants	Eau	Air	Ciment	Granulats
Volume (%)	14 - 22	1 – 6	7 – 14	60 – 78
Poids (%)	5 - 9	-	9 – 18	63 – 85

Toutes les opérations de mise en œuvre (Formulation, préparation du béton frais, transport et la mise en place) sont importantes si l'on veut obtenir un béton dense de qualité homogène.[1]

Pour être durable, un béton doit :

- Être bien composé.
- Correctement mis en œuvre.
- Protégé des causes possibles d'altération par des dispositions constructives adéquates.

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

2-Rôle des différents éléments constituant le béton

Ciment: c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.

L'eau: c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.

Les granulats: ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.

Le sable: il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

Les plastifiants: ils augmentent l' « ouvrabilité » du béton (facilité avec laquelle on peut travailler le béton).

3-Classification du béton

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton lourd (béton courant) : $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$.
- Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment),
- Béton silicate (la chaux),
- Béton de gypse (le gypse) et
- Béton asphalte ou bitumineux (bitume).

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

Le béton est composé de granulats, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants. Parmi les quatre constituants, les granulats jouent un rôle important, d'une part car ils forment le squelette et présentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton et d'autre part car au point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est le plus cher. En plus, du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment.

4-Les constituants du béton

4-1- Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau, il se présente sous forme d'une poudre très fine qui mélangée avec l'eau forme une pâte faisant prise et durcissant dans le temps.

Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux notamment des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive doit être au moins 50% de la masse du ciment. [2]

b-Composition de ciment portland

Tableau I. 2 . La composition de ciment portland

Les constituants principaux (plus de 90% du ciment)	Silicate tricalcique (alite)	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	50 - 70%
	silicate bicalcique (bélite)	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	15 - 30%
	aluminate tricalcique (célite)	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	5 - 10%
	alumino-ferrite tétracalcique (célite II)	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4A F	5 - 15%
Les autres constituants mineurs (moins de 5% du clinker)	$\text{SO}_3, \text{MgO}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Na}_2\text{O}, \text{MnO}, \text{TiO}_2, \text{CaCO}_3, \dots$			

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

c- Constituants du ciment

Les ciments silico-calciques normalisés sont constitués de clinker, de gypse et éventuellement d'ajouts minéraux (laitiers, cendres volantes, fumées de silice ou fillers). Chacun de ces constituants est détaillé dans la suite.

Tableau I. 3 . Teneurs massiques des principaux composés

Composés	Teneurs massiques
SiO ₂	19 – 25%
Al ₂ O ₃	2 – 9%
CaO	62 – 67%
Fe ₂ O ₃	1 – 5%
MgO	0 – 3%
SO ₃	1 – 3%
K ₂ O	0,6%
Na ₂ O	0,2%

4-2- L'eau de gâchage

Pratiquement toute eau naturelle potable n'ayant pas une odeur ou un goût prononcé peut être employée pour la fabrication du béton. Cependant, certaines eaux non potables peuvent convenir.

Une eau de qualité douteuse peut être utilisée à condition que des cubes de mortier préparés avec cette eau donnent des résistances à 28 jours au moins égales à 90 % de celles obtenues sur des échantillons témoins préparés avec de l'eau que l'on sait potable.

Un excès d'impuretés peut influencer non seulement le temps de prise, la résistance et la stabilité volumétrique du béton, mais peut aussi faire apparaître des efflorescences, des taches, attaquer les armatures et réduire la durabilité.

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

Certaines limites peuvent donc être établies pour les chlorures, sulfates, alcalis et solides présents dans l'eau de gâchage ou l'on peut effectuer des essais appropriés pour déterminer l'effet de l'impureté sur diverses propriétés. [5]

4-3- Les adjuvants

4-3-1- Généralités

On appelle adjuvant tout ingrédient, autre que le ciment portland, l'eau et les granulats, que l'on ajoute au mélange immédiatement avant ou pendant le malaxage.

Un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieur à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortiers ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de tel ou tel de leurs propriétés à l'état frais ou durci, [6].

Les adjuvants fournissent au formateur de béton une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des bétons, adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci, voir même lui conférer des propriétés nouvelles [7].



Figure. I. 1. Adjuvants liquide de gauche à droite : agent anti-lessivage , réducteur de retrait , réducteur d'eau ,agent moussant , inhibiteur de corrosion et agent entraîneur d'air

On utilise les adjuvants surtout pour :

- Diminuer le coût des constructions en béton
- Donner au béton certaines caractéristiques plus efficacement que par d'autres moyens

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

- Assurer la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et la cure dans des conditions météorologiques défavorables
- Obvier à certaines urgences durant le bétonnage

Il ne faut cependant pas oublier qu'aucun adjuvant, en quelque quantité que ce soit, ne saurait remplacer une bonne technique de bétonnage.

4-3-2- Classification

On peut classer les adjuvants selon leur fonction dans les catégories suivantes :

1. Les entraîneurs d'air
2. Les réducteurs d'eau
3. Les superplastifiants
4. Les accélérateurs
5. Les retardateurs
6. Les contrôleurs d'hydratation
7. Les inhibiteurs de réaction alcali-silice
8. Les adjuvants pour colorer le béton
9. Les adjuvants divers, tels que ceux qui améliorent la plasticité, l'adhérence, l'imperméabilisation, l'étanchéité, l'injection, la formation de bulles de gaz, le pompage et les adjuvants moussants et anti lessivage [8].

4-4-Les granulats pour le béton

4-4-1- Introduction

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage. Les granulats constituent le squelette du béton dont ils constituent les deux tiers du volume. Ils sont constitués de différents grains minéraux, naturels ou artificiels, dont les caractéristiques influentes sur la qualité des bétons.

La minéralogie des granulats en Algérie est essentiellement d'origine calcaire, en raison du caractère géologique du nord du pays. Actuellement, l'Algérie compte 1043 unités en exploitation dont 933 carrières et 110 sablières. Avec une capacité de production effective de 32 millions de tonnes/an.

Le présent cours spécifie les différentes caractéristiques que doivent présenter les granulats destinés à la confection du béton hydraulique.

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

4-4-2- Définition d'un granulats et son rôle dans le béton

On appelle «granulats» les matériaux inertes qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle ou artificielle. Ces matériaux sont quelquefois encore appelés «agrégats», cependant cette appellation est abandonnée depuis fort temps. En effet, un agrégat est un assemblage hétérogène de substances ou éléments qui adhèrent solidement entre eux (le mortier ou le béton par exemple). [11]

4-4-3- Différents type de granulats

1- Granulats naturels

Les granulats sont dits naturels lorsqu'ils sont extraits de leurs sites géologiques d'origine en ayant subi que des traitements mécaniques. Ils sont provenus de différentes roches qui varient selon la région d'origine.

2- Granulats artificiels

Les granulats artificiels sont obtenus de la transformation à la fois thermique et mécanique de roches ou de minerais. Il existe différentes sortes de granulats artificiels. Les sous-produits industriels, parmi lesquels les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut-fourneau, sont obtenus par refroidissement à l'eau. D'autres sous-produits qui sont utilisés pour un usage précis. [11]

3- Granulats légers et lourds

➤ Granulats légers

Les granulats légers sont utilisés pour la confection de bétons légers. Leurs masses volumiques sont inférieures à 2 t/m^3 . Ils présentent une forte absorption d'eau et cette dernière a toujours été considérée par les constructeurs comme une grosse difficulté sur les chantiers car elle entraîne d'importantes variations de plasticité et d'ouvrabilité des bétons. Parmi les granulats légers, on trouve l'argile expansée, schistes expansés, laitier expansé, pierre ponce, pouzzolane, vermiculite, perlite, etc.

➤ Granulats lourds

Les granulats lourds ont des masses volumiques supérieures à 3 t/m^3 . Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour la construction d'ouvrages nécessitant une protection biologique contre les rayonnements produits, par exemple, dans les accélérateurs et piles atomiques ; la protection est d'autant plus efficace que l'épaisseur est plus grande et la densité du béton plus élevée.

5- Caractéristiques des granulats

5-1- Caractéristiques géométriques

5-1-1-Classe granulaire

Un granulats est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe d/D , d et D étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains. La norme française XP P18-540 précise les appellations des différentes classes granulaires avec leurs caractéristiques dimensionnelles :

- fillers $0/D$ pour $D < 2 \text{ mm}$ avec au moins 70% de passant à 0.063 mm ;
- sable $0/D$ pour $1 < D \leq 6.3 \text{ mm}$;
- grave $0/D$ pour $D > 6.3 \text{ mm}$;
- gravillon d/D pour $d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$;
- ballast d/D pour $d \geq 20 \text{ mm}$ et $D \leq 50$.

5-1-2-Granulométrie

La granulométrie permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Cette. L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les un sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis. La dimension nominale de tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

Les pourcentages des refus cumulés ou ceux des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique.[11]

5-1-3- Module de finesse

Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Il est égal au $1/100^e$ de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les tamis suivants : 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 et 5 mm. Un module de finesse élevé indique un sable grossier, un module faible caractérise un sable fin. La valeur du module de finesse dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse compris entre 3.2 et 1.8.

6- Le choix des granulats selon le type de béton

Le choix des granulats doit se faire en fonction de plusieurs critères technico-économiques qui vont de la destination du béton et de l'ouvrage à la simple question des disponibilités locales. La variété des fonctions remplies par le béton conduit à adopter des granulats qui, selon le cas, présenteront des caractéristiques d'aspect, de densité, de résistances mécaniques différentes

Conclusion

Les granulats constituent la phase dominante du béton, dont ils occupent environ 70 % du volume. Ils forment l'ossature du matériau. La sélection et le dosage des différentes fractions granulaires sont un aspect essentiel pour l'obtention d'un béton satisfaisant. Les granulats présentent des caractéristiques très différentes selon leurs origines, influant sur celles du béton. La plupart des granulats conviennent pour le béton, mais il faut éviter ceux comportant une proportion non négligeable d'argiles ou calcaires marneux, qui peuvent avoir une influence défavorable sur la prise et le durcissement, provoquer des baisses de résistance et induire, à terme, des gonflements et des altérations à cause des réactions avec le ciment (fissuration, corrosion des armatures, etc.). De la même façon, la présence de matières organiques ou une teneur anormalement élevée en sulfates, sulfures et chlorures sont de natures à altérer sensiblement les caractéristiques du béton. Il y a donc lieu avant de confectionner un béton de rechercher les granulats susceptibles de donner les meilleurs résultats. [11]

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

I-3-Le béton précontraint

Histoire

L'idée de soumettre le béton à un effort de compression permanent lui permettant de travailler en flexion sans qu'il n'en résulte de traction avait été émise dès la fin du XIX^{ème} siècle. Sa réalisation s'était cependant heurtée aux propriétés mécaniques insuffisantes des aciers de l'époque, ainsi qu'aux conséquences mal maîtrisées des déformations différées du béton soumis à des efforts permanents importants.

C'est seulement à la fin des années 1920 que les progrès dans la fabrication des aciers durs et une meilleure connaissance du comportement différé du béton ont permis à **Eugène Freyssinet** de mettre au point le béton précontraint, dans lequel les efforts de compression permanents sont obtenus à l'aide d'armatures en acier fortement tendues.

Dans un élément en béton armé, l'armature en acier est destinée à se substituer entièrement au béton dans les zones tendues, lorsque celui-ci se fissure par suite d'allongement. Sous charge, les allongements communs des armatures du béton deviennent trop grands, le béton se fissure (micro fissures), l'acier supporte alors seul tout l'effort de traction.

Dans un élément poutre en béton précontraint, l'acier précontraint équilibre les efforts des charges extérieures et évite ainsi au béton de se fissurer sous les charges d'exploitation. La compression initiale introduite grâce à la précontrainte des poutres s'opposent aux tractions engendrées par les charges et surcharges appliquées. [12]

Par rapport au béton armé classique, le béton précontraint comporte un ajout de câble permettant de réaliser des structures beaucoup plus légères, donc de très grande portée, là où le béton armé se serait écroulé sous son propre poids.

1- Introduction

Le béton est un matériau hétérogène qui présente une très bonne résistance à la compression, par contre, il a une très mauvaise résistance à la traction.

C'est ainsi qu'une poutre reposant sur deux appuis, soumise à l'effet de son poids propre (G) et d'une charge d'exploitation (Q), subit des contraintes de flexion qui se traduisent par une zone comprimée en partie supérieure et par une zone tendue en partie inférieure (figure I.2)

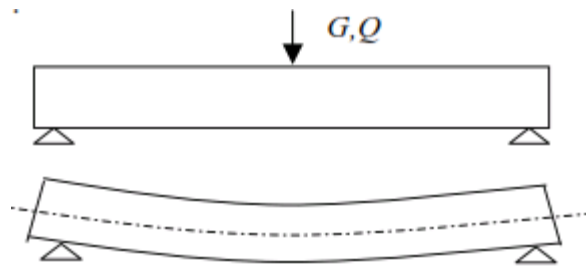


Figure I.2

2- Mode de précontrainte

Pour réaliser l'opération de précontrainte, il existe deux possibilités.

2-1-Précontrainte par pré-tension

Dans ce procédé, les câbles de précontrainte sont tendus entre deux massifs solidement ancrés avant le coulage du béton. Cette technique est surtout employée sur les bancs de préfabrication, pour réaliser des éléments répétitifs.

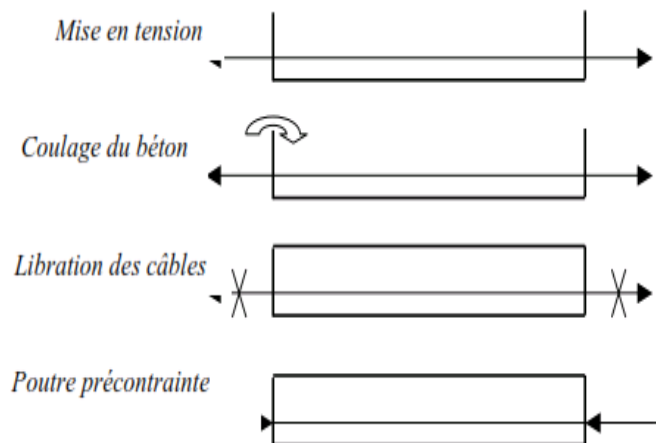


Figure. I. 2. Les étapes de réalisation de la précontrainte par pré-tension

2-2-Précontrainte par post-tension

Ce procédé consiste à tendre les câbles de précontrainte, après coulage et durcissement du béton, en prenant appui sur la pièce à comprimer. Cette technique est utilisée pour les ouvrages importants est, généralement, mise en ouvre sur chantier.

CHAPITRE I : Généralités sur les bétons et ses constituants

La précontrainte par post-tension se présente sous deux formes :

- Une précontrainte par post-tension interne
- Une précontrainte par post-tension externe

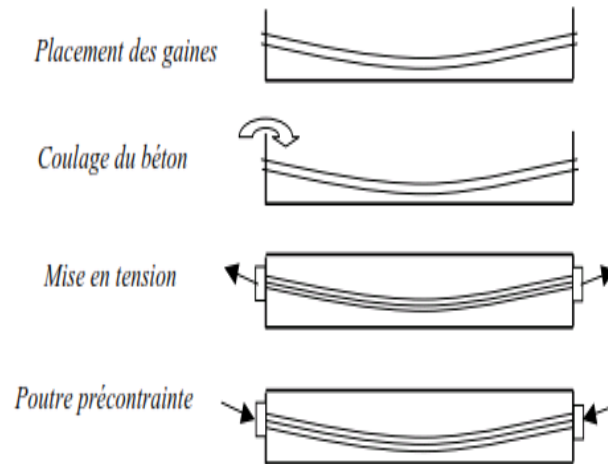


Figure. I. 3. Les étapes de réalisation de la précontrainte par post-tension

2-3-Avantages et inconvénients

Avantages

- 1) Une compensation partielle ou complète des actions des charges.
- 2) Une économie appréciable des matériaux.
- 3) Augmentation des portés économiques.
- 4) Une réduction des risques de corrosion.

Inconvénients

- 1) La nécessité de matériaux spécifiques.
- 2) La nécessité de main d'œuvre qualifié.
- 3) La nécessité d'équipements particuliers.
- 4) Risque de rupture à vide par excès de compression.
- 5) Un calcul relativement complexe [15]

Chapitre II :

Les ajouts cimentaires

II-Les ajouts cimentaires

1-Généralités

Les ajouts cimentaires sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment Portland et donnent ses propriétés au béton, grâce à une activité hydraulique et/ou pouzzolanique. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques. Contrairement aux adjuvants, les ajouts doivent être pris en compte dans le calcul de la Composition du béton. Des ajouts, tels que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau (LGHF) et les fumées de silice, les fillers etc.. Entrent dans la majorité des compositions du ciment dans le but d'améliorer ses caractéristiques rhéologiques et/ou mécaniques. On obtient ainsi un liant de composition binaire voire tertiaire. Les pays industrialisés tels que les États-Unis, la Russie, la France, l'Allemagne, le Japon et l'Angleterre, sont les plus grands producteurs de cendres volantes, de fumée de silice et de laitier de haut fourneau. La Chine et l'Inde produisent également des quantités importantes de cendres de balles de riz. [13]



Figure. II 1. Ajouts cimentaires de gauche à droite : cendres volants, métakaolin, fumée de silice, cendres volantes, laitier et schiste calciné

Les ajouts sont des matières premières naturelles, artificielles, sous produits d'une autre industrie, résidus industriels ou déchets industriels polluant, ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine crue, soit au clinker portland avant ou après le broyage, leurs pourcentages dans la masse varient suivant le but de

Les ajouts cimentaires

l'addition et le rôle qu'elle peut jouer, ainsi on trouve des ajouts en faibles teneurs, moyennes ou en fortes teneurs. On distingue deux types d'ajouts : inertes et actifs

2-Origine et classification

Il existe deux types d'ajouts selon leurs origines :

- Ajouts minéraux inertes
- Ajouts minéraux actifs (naturels ou artificiels)

3- Rôle des ajouts minéraux actifs

Le rôle des ajouts minéraux actifs consiste à fixer la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ du ciment qui se dégage lors de l'hydratation de C_3S pour former des compositions difficilement solubles (stables) qui contribuent à la résistance du ciment.

Les ajouts minéraux actifs améliorent la compacité du mortier et du béton, cette compacité donne une meilleure protection du ciment à l'agressivité des eaux douces et des sels.

➤ Cendres volantes

Les cendres volantes, les ajouts cimentaires les plus fréquemment utilisés dans le béton, sont des résidus finement divisés (Poudre ressemblant au ciment) résultant de la combustion du charbon pulvérisé et évacué de la chambre de combustion d'un four par les gaz qui s'en échappent. La plupart des cendres volantes sur le marché sont un sous produit des centrales thermiques. Durant la combustion, presque toute la matière volatile et le carbone du charbon sont brûlés.

Les impuretés du charbon (telle l'argile, le feldspath, le quartz et le schiste) entrent en fusion et sont évacuées de la chambre à combustion par les gaz d'échappement. Durant cette étape, le matériau fusionné refroidit et se solidifie en petites particules sphériques vitreuses nommées cendres volantes Les cendres volantes sont ensuite extraites des gaz d'échappement à l'aide de dépoussiéreurs électrostatiques ou de sacs filtrants.

La cendre volante est constituée surtout de silicate de verre contenant de la silice, de l'alumine, du fer et du calcium. Les composants mineurs sont le magnésium, le soufre, le sodium, le potassium et le carbone. Des composants cristallins sont présents en petites quantités.

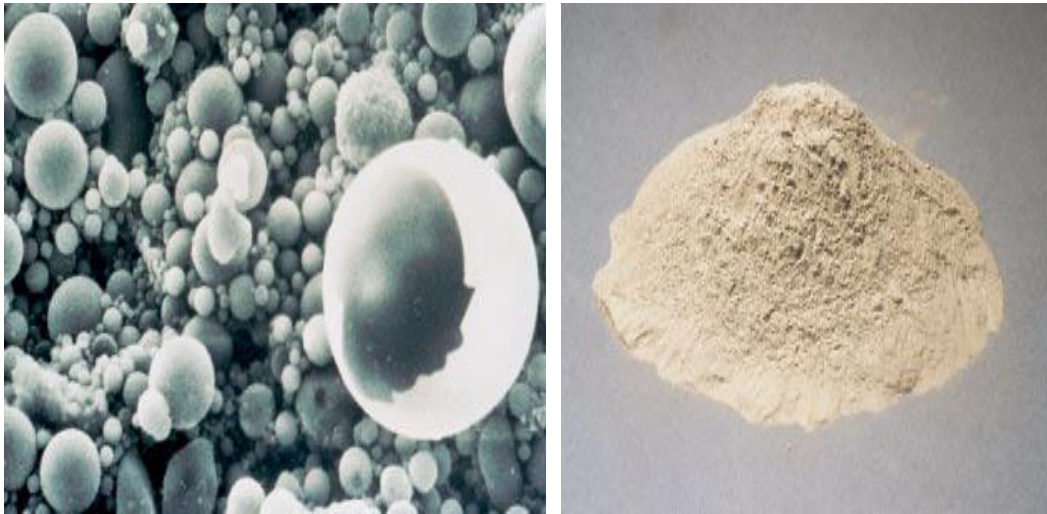


Figure II. 1 .Micrographie de cendres volants au microscope électronique à balayage
.Grossissement $\times 1000$

➤ **Laitier**

Le laitier de haut-fourneau granulé ?aussi appelé ciment de laitier, est fabriqué à partir du laitier de fonte, c'est un liant hydraulique non métallique qui est composé essentiellement de silicates et d'alumino-silicates de calcium qui se sont développés dans des conditions de fusion de l'acier dans un haut-fourneau.

Le laitier en fusion, à une température d'environ 1500°C , est refroidi rapidement en le trempant dans l'eau pour former un matériau granuleux ressemblant à un sable vitreux.

Le matériau granulé, broyé à une taille de moins de 45 microns, possède une finesse Blaine d'environ 400 à 600 m^2/kg . La densité d'un laitier de haut fourneau granulé broyé est comprise entre 2,85 à 2,95. La masse volumique des laitiers varie de 1050 à 1375 kg/m^3 .

➤ **Fumée de silice**

La fumée de silice, aussi appelée microsilice ou fumée de silice condensée, est un coproduit qui est utilisé comme pouzzolane. Ce coproduit est le résultat de la réduction du carbone et du quartz de très grande pureté dans un four à arc électrique durant la fabrication du silicium ou d'alliages de ferrosilicium. La fumée de silice s'élève sous forme de vapeur oxydée émise par les fournaies chauffées à $2\ 000^{\circ}\text{C}$. Lorsqu'elle se refroidit, elle condense

Les ajouts cimentaires

pour ensuite être captée dans d'énormes poches de tissu. La fumée de silice est ensuite traitée pour enlever les impuretés et pour contrôler la taille des particules.



Figure II. 2 . Poudre de fumée de silice

➤ Le marbre

Le marbre est une roche métamorphique résultant de la transformation d'un calcaire pur), souvent veinée de couleurs variées. Mis en œuvre dans la construction et la décoration, le marbre se révèle être une matière noble et durable très recherchée.

Les roches métamorphiques sont issues de la transformation de roches préexistantes par une chaleur intense ou/et de très fortes pressions.

Le degré de pureté du marbre est responsable de sa couleur et de son aspect : il est blanc si la roche dont il provient était uniquement composée de calcite.[13]

Chapitre III :

Le verre

III-Le verre

1-Introduction

L'origine du verre remonte à la plus haute antiquité, il a été découvert pour la première fois aux îles grecques de Mélos et de Théra. Où on utilisait les obsidiennes pour la fabrication des couteaux, pointes de flèches etc..., mais les plus anciens objets en verre produits par l'homme ont été découverts en Egypte, ils remontent à environ 3000 ans avant J-C. D'après les recherches archéologiques les habitants de la Mésopotamie savaient déjà fabriquer le verre vers 4500 ans avant J-C. On peut dire qu'actuellement 95% des objets de verre sont faits mécaniquement. [14]

2-Définition

Les verres sont des solides amorphes, d'habitude des substances inorganiques, formés après une solidification sans cristallisation. Ils sont caractérisés essentiellement par l'absence d'un point de fusion fixe, contrairement à ce qui se passe avec les corps cristallisés. Lors du refroidissement, ils traversent une zone de températures durant laquelle toutes les propriétés physiques (indice de réfraction, densité, coefficient de dilatation) subissent des variations importantes ; d'où l'appellation de cet intervalle « zone de transformation ». [15]

En générale le verre est un matériau transparent, homogène et fragile il résiste au feu et au contact de tous les liquides et solides, c'est un solide non cristallin (amorphe) qui ne présente pas l'ordre à longue distance c'est un état particulier de la matière (état vitreux). [16]

3-Structure du verre

La structure du verre n'a été élucidée de façon satisfaisante que depuis une cinquantaine d'années. Des travaux exécutés à l'aide des rayons x ont montré que l'ordre moléculaire dans les verres est d'une façon générale irrégulier analogue à celui d'un liquide.

On avait supposé que le verre dans sa structure, n'était qu'un liquide figé ; c'est ce qui a été confirmé. Les travaux de W.L BRAGG ont démontré l'existence de tétraèdres de Si constituant l'élément constitutif universel des silicates. [17]

Le verre

4-Composition chimique du verre

Tableau III. 1 . Composition chimiques de quelques verres [16]

Composants (en %) Types de	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO
Verre plat	72.5	–	1.5	1.3	0.3	9.3	3	–
Verre à bouteilles	73	–	1	15	–	10	–	–
"Pyrex" (borosilicates)	80.6	12.6	2.2	4.2	–	0.1	0.05	–
Fibre de verre	54.06	8.0	14.8	0.6	–	17.4	4.5	–
"Cristal"	55.5	–	–	–	11	–	–	33

5-Les propriétés du verre

5-1-Propriétés mécaniques

Le verre est un matériau fragile, qui, après rupture, présente un faciès conchoïdal.

On trouve de nombreux paramètres permettant de décrire les qualités et les défauts du verre dans toutes les situations de mise sous contrainte :

- Le module élastique ou module d'Young (E), qui caractérise la déformation du verre avant la rupture.
- La contrainte à la rupture.
- La corrosion sous contrainte : l'altération par l'eau d'une fissure augmente sa vitesse de propagation.
- La fatigue du verre: soumis à des traitements cycliques, un verre peut se fragiliser par modification des défauts de surface (taille, nombre).

Le verre

- La dureté qui caractérise l'aptitude d'un verre à rayer (ou être rayé par) un autre matériau.

➤ La dureté

La dureté est la résistance d'un solide qui s'oppose à la déformation de sa surface, le classement des verres au point de vue de leur dureté mécanique dépend de la méthode d'essai.

Les différentes méthodes sont les suivantes : rayures, abrasion empreinte... etc.

Classement selon l'échelle de Mohs, les verres sont compris entre 4,5 et 7. [19]

➤ L'élasticité

Un corps solide subit une déformation sous l'action d'une force de déformation, si cette déformation disparaît par suppression de la force, le corps est appelé élastique. La loi de HOOK exprime que la déformation D est proportionnelle à la contrainte σ appliquée.

$$\sigma = E \cdot D$$

➤ Résistance mécanique

➤ La résistance à la compression

Le verre résiste fort bien à une compression lente, ce qui permet de l'employer en architecture pour faire des dalles et pour la fabrication de tubes supportant de fortes pressions comme ceux des manomètres ou des tubes de niveau de chaudières à vapeur. La résistance à la compression du verre ordinaire est de l'ordre de 100 daN/mm^2 . [20]

➤ Résistance à la traction

La résistance à la traction dépend de la durée d'application de la charge C.-à-d c'est la capacité de tenir à une force de traction jusqu'à la rupture, pour le verre elle est comprise entre $3 \text{ et } 7 \text{ daN/mm}^2$. [20]

➤ Résistance à la flexion

C'est la méthode la plus apte à la résistance du verre en comparaison avec la traction qui provoque des tensions pendant le serrage des mâchoires de la machine de traction, dans l'essai de flexion l'échantillon ne subit aucune tension causée par le serrage.

➤ La masse spécifique

Elle permet de contrôler de façon simple la constante de la composition du verre, et on peut la définir comme suit c'est la masse d'un corps par unité de son volume. Elle dépend de la composition chimique et la structure et la température

$$d = m / v \quad [\text{g/cm}^3]$$

Ou:

d : la densité ;

m : la masse du verre en (g) ;

v: le volume en (cm³) ;

Pour les verres silico - calcique (verre à vitre) : **d = 2,5 g/cm³** ;

Pour un cristal : d = **2,8 à 3,2g/cm³** ; [20]

6-La poudre de verre dans les bétons

Le comportement des ajouts cimentaires dans le béton est différent par rapport à celui du ciment Portland tout seul. L'incorporation de l'ajout minéral par remplacement de ciment a des effets sur la cinétique d'hydratation, de durcissement et de durabilité. Une description des différentes phases du processus d'hydratation du ciment Portland est nécessaire pour introduire la réaction pouzzolanique de la poudre de verre dans le béton.

La poudre de verre est un ajout cimentaire alternatif de couleur blanche. Elle est obtenue après la collecte et le broyage des fragments de verre coloré. Sa haute teneur en silice amorphe SiO₂ lui confère des propriétés pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour produire d'autres hydrates. [21]

6-1- La réaction pouzzolanique

L'utilisation des ajouts cimentaires qui sont des matériaux riches en silices est bénéfique dans le béton. Ils réagissent avec la portlandite libérée par l'hydratation des silicates en présence d'eau, afin de former un produit similaire à celui obtenu par le ciment portland. La seule différence qui peut être remarquée est dans le rapport C/S qui diminue.

La réaction pouzzolanique passe par plusieurs étapes. Durant la première étape, les liaisons silanols (Si-O-Si) seront hydrolysées par l'hydroxyle d'hydrogène (OH⁻) libéré par la portlandite Ca(OH)₂. Une fois que le réseau vitreux est perturbé, la réaction aura lieu entre le matériau siliceux hydrolyse et les composants d'activateur, formant les hydrates qui, en partie remplacent les grains anhydres du matériau pouzzolanique, et remplissent les espaces entre les grains et développe le lien. Dans sa forme simple, la réaction qui se produit aura la forme suivante :



Le C-S-H formé par cette réaction est différent de celui formé par le ciment Portland. La première modification résulte dans le rapport CaO/SiO₂. Ce qui peut favoriser la consommation des alcalis, surtout le Na⁺ ainsi que la diminution du pH de la solution interstitielle [SUNG-YOON et coll., 1999]. Ce phénomène peut influencer sur la réaction alcalis silice. Lorsque le taux de la chaux CaO est élevé dans une pouzzolane comme la cendre volante de type C par exemple, la diminution du pH n'aura pas lieu contrairement aux autres ajouts qui ont un pourcentage moins élevé [DIAMOND et coll., 1981]

6-2- Effet de la poudre de verre sur l'état durci

La résistance en compression d'un béton dépend de la qualité du calcium hydraté (C-S-H) développé. L'ajout d'un matériau cimentaire en remplacement partiel de ciment réagira

avec la portlandite, ce qui résultera en la formation d'un nouveau C-S-H qui comblera ainsi plus de vide, ce qui diminue la porosité et améliore la résistance en compression.[21]

Une amélioration significative des propriétés mécaniques due à la réaction pouzzolanique de la poudre de verre en substitution du ciment a été montrée par [SHAO., 2000, CHEN et coll., 2006]. La substitution de 30 % de ciment par une poudre dont le diamètre maximum des particules est de 38 μ a donnée lieu à une activité pouzzolanique.

CHEN et coll., [2006] ont rapporté dans une étude récente, que l'utilisation de 40% de poudre de verre des instruments électroniques dans le mortier augmente la résistance en compression de 17%, 27% et 43% à 28j, 91, et 365 jours respectivement. SHAYAN., [2006] montre que 20 % de remplacement de ciment Portland par une poudre de verre de finesse de 800m²/kg et de 10 % des granulats par la même poudre donne des résistances similaires à celles d'un remplacement de 10 % de ciment par la fumée de silice. Il montre aussi que les 20 % de substitution de ciment donnent des résultats appréciables. L'amélioration de la résistance en compression dans certains mélanges à différent pourcentages est en fonction de la finesse et du mode de mûrissement [SHI et coll., 2005]. D'une façon générale, l'augmentation de la résistance en compression a une influence sur les résistances en flexion, en traction et sur la ductilité du béton.[21]

6-3- Effet du verre sur la durabilité

Avec l'utilisation des ajouts cimentaires et des superplastifiants, il est devenu possible d'abaisser la quantité d'eau des bétons et produire ainsi des bétons à haute performance. Face à toutes les agressions extérieures environnantes auxquelles le béton doit faire face, l'aspect de durabilité n'est plus négligeable. Actuellement, les exigences des maîtres d'ouvrage dépassent les 100 ans de service. Les agents extérieurs tels que, les chlorures et les sulfates causent souvent la dégradation du béton. Le béton se dégrade aussi à cause de son retrait de séchage ou endogène, ainsi que par la réaction alcalis silice en présence de granulats réactifs ou d'un ciment à fort pourcentage en alcalis.

Dans cette partie, on décrira l'effet du verre sur la durabilité suivant les résultats recueillis de la littérature. Les autres phénomènes seront développés dans la partie expérimentale au moment de l'exposition des résultats trouvés au laboratoire.[21]

Conclusion

À la lumière des études décrites précédemment, il est clair que l'effet du verre broyé sur le comportement des bétons à l'état frais et durci n'est pas totalement connu. Beaucoup reste à faire pour mieux comprendre sa réactivité et son impact sur la performance du béton.

Chapitre IV :

Les propriétés des bétons

IV-Les propriétés des bétons

1- Les propriétés des bétons à l'état frais

La période durant laquelle le béton demeure plastique n'est que temporaire. La résistance du béton, pour une composition donnée, est très affectée par le degré de compacité. Il est alors important que la consistance du béton soit ajustée de façon que le béton puisse être facilement transporté, mise en place, vibré et fini sans qu'il y ait de ségrégation.

1-1-Ouvrabilité

Définition de l'ouvrabilité

Un béton qui peut être mise en place et serré correctement est considéré comme ayant une bonne maniabilité.

On peut alors définir l'ouvrabilité ou la maniabilité par la propriété déterminant l'effort nécessaire pour manipuler une quantité de béton frais avec un minimum de perte d'homogénéité [22].

Mesure de la maniabilité du béton

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. On n'en citera que quelques-uns qui sont les plus couramment utilisés dans la pratique.

Essai d'affaissement au cône d'ABRAMS

L'essai d'affaissement est le plus couramment employé pour le béton sur chantier. Cet essai est cependant très pratique pour détecter des variations de l'homogénéité d'un béton donné. On utilise un moule normalisé de 300 mm de hauteur, placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches. Chacune des couches est compactée par 25 coups d'une tige métallique normalisée.

CHAPITRE IV : PROPRIETES DES BETONS

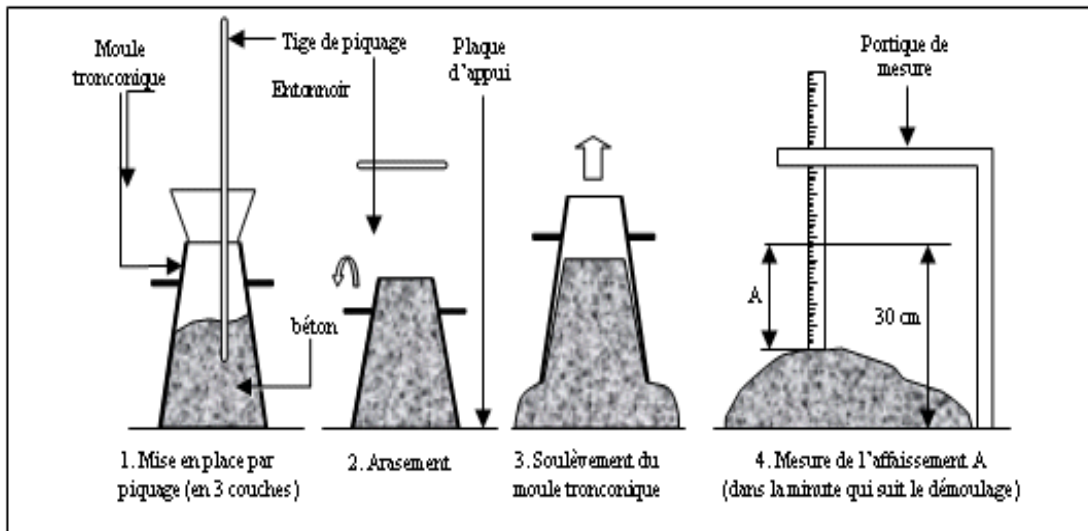


Figure IV.1. Mesure de l'affaissement au cône d'ABRAMS

Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse. La différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est l'affaissement; il est mesuré à 5 mm près (voir figure IV.1).

Les valeurs approximatives d'affaissement en fonction de la maniabilité sont données dans le Tableau IV.1

Tableau IV. 1 .Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

1-2-Masse volumique

Le béton ordinaire généralement employé pour les chaussées, les bâtiments et les autres ouvrages a une masse volumique de l'ordre de 2 200 à 2 400 kg/m³.

La masse volumique du béton varie en fonction de la quantité et de la densité des granulats, des quantités d'air emprisonné ou entraîné, du dosage en eau et en liants (qui dépend lui-même, de la taille maximale de gros granulat).

Le fait de réduire la teneur en pâte de ciment (d'accroître le volume de granulat) augmente la masse volumique. La valeur de cette dernière est importante dans le calcul des ouvrages en béton armé.

La mesure de la masse volumique est très simple. Il suffit de mesurer la masse de béton versé dans un contenant de volume bien déterminé. La masse volumique est donnée par le rapport de la masse de béton sur le volume du contenant. Il est clair que pour les bétons à air entraîné, la masse volumique diminue en fonction du pourcentage d'air.

La masse volumique se déduira alors de :

$$MV = \frac{M}{V} (kg / m^3)$$

2-Les propriétés des bétons à l'état durci

Introduction

La résistance à la compression du béton est généralement considérée comme propriété la plus importante bien que, dans nombreux cas pratiques, d'autres caractéristiques telles la durabilité et la perméabilité puissent en fait être plus importantes. Néanmoins, la résistance à la compression projette généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elle est directement reliée à la structure de la pâte de ciment hydraté. De plus, la résistance du béton est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité [22].

2-1-Résistances mécaniques

Essais destructifs

Les résistances sont mesurées sur des éprouvettes cylindriques, cubiques ou prismatiques, les plus fréquemment utilisés sont les moules cylindriques.

Résistance en compression

On peut définir la résistance en compression comme la mesure de la résistance maximale d'une éprouvette cylindrique ou cubique de béton ou de mortier sous une charge axiale. Elle est généralement exprimée en méga pascals (MPa).

Principe de l'essai :

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette. [23].

Résistance en traction

Généralement le béton est un matériau travaillant bien en compression, mais on a parfois besoin de connaître la résistance en traction, en flexion, au cisaillement. La résistance en traction à 28 jours est désignée par f_{t28} .

Plusieurs essais peuvent être réalisés :

a) Résistance en traction directe

La mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques à celle de la résistance en traction par fendage, mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, après sciage des extrémités, le collage de têtes de traction parfaitement centrées, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

b) Résistance en traction par fendage

L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse. Cet essai est souvent appelé "Essai Brésilien".

Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du diamètre vertical, la résistance en traction sera (voir figure. V.3) [24].

$$F = \frac{2P}{\pi LD}$$

P= la charge (MPa)

D et L = diamètre et longueur du cylindre.

c) Résistance en traction par flexion

Les essais les plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques de côté **a** et de longueur **4a**, reposant sur deux appuis:

Soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).

Soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges) [24].

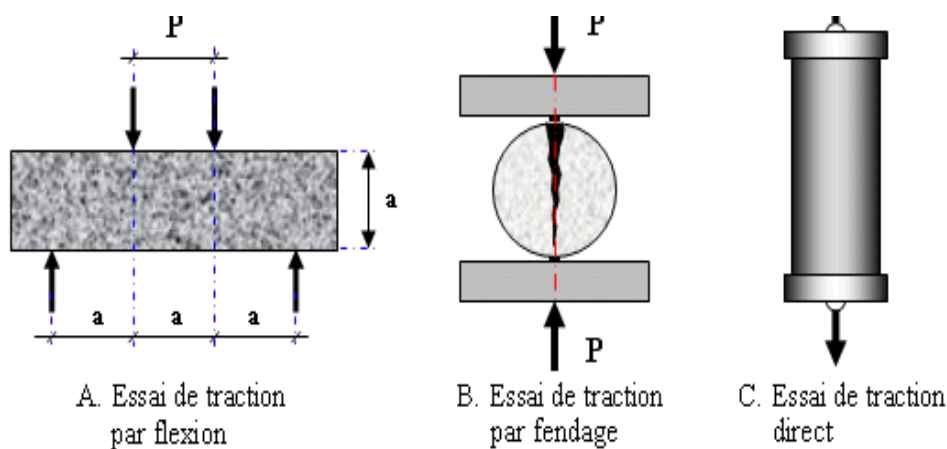


Figure IV.2 .Différents essais sur les résistances d'un béton en traction

Essais non destructifs

Les essais non destructifs sont des essais qui permettent d'évaluer la résistance d'un béton sans que l'on soit obligé d'aller jusqu'à la rupture des éprouvettes. C'est un avantage

CHAPITRE IV : PROPRIETES DES BETONS

indéniable lorsque l'on est appelé à établir un diagnostic des ouvrages où les éprouvettes font défaut.

Les ultrasons

Le principe de la méthode des ultrasons consiste à mesurer le temps de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton. L'essai ultrasonique peut être effectué sur des éprouvettes de laboratoire, comme sur des ouvrages en béton terminés.

Tableau IV. 2. Qualité du béton en fonction de la vitesse de propagation des impulsions

Qualité du béton	Vitesse de propagation (m/s)
Excellente	Supérieure à 4575
Bonne	3660 à 4575
Douteuse	3050 à 3660
Mauvaise	2135 à 3000
Très mauvaise	Inférieure à 2135

Paramètre influant sur la résistance : Parmi les paramètres influant sur la résistance du béton, on peut citer :

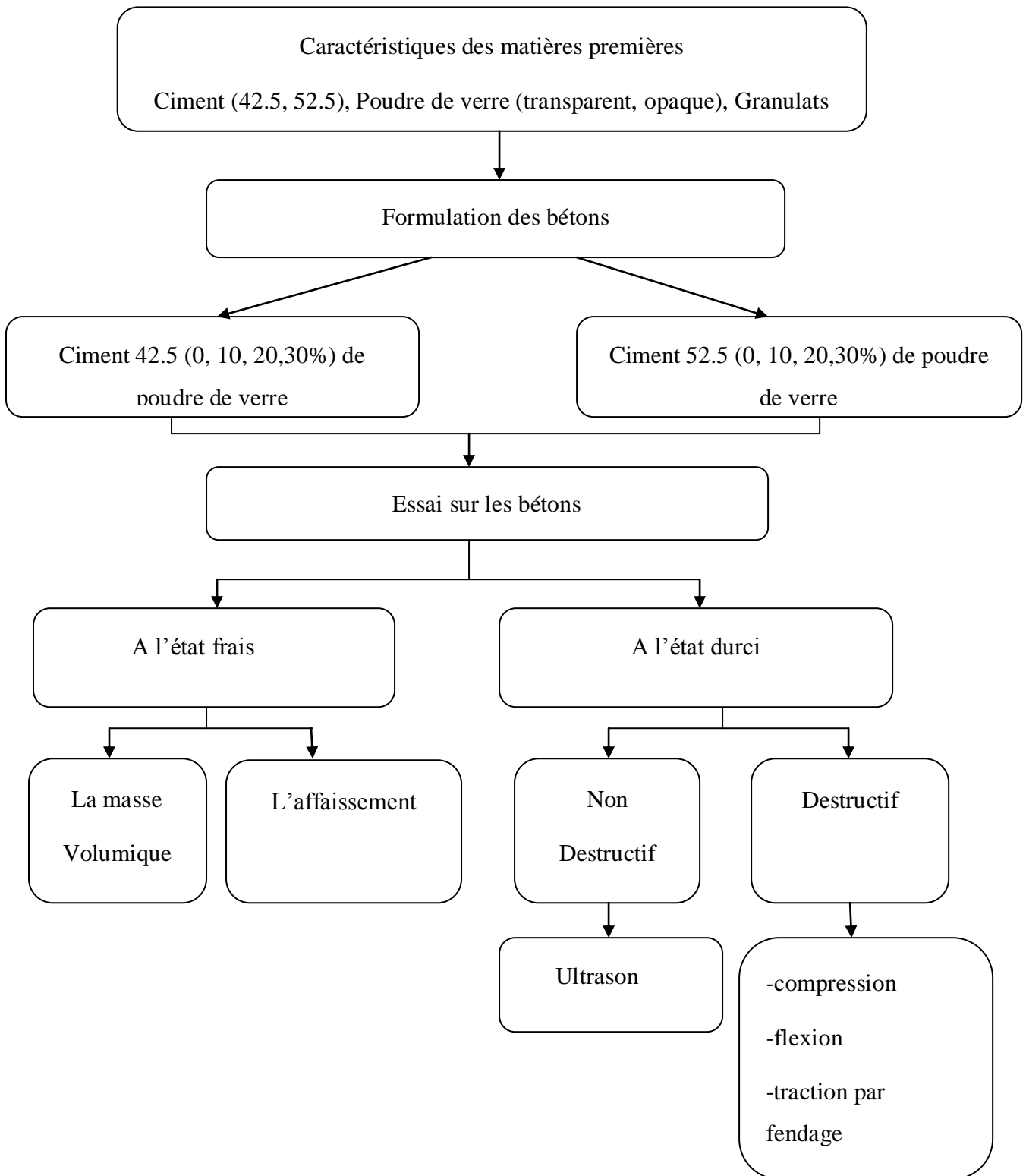
- Rapport eau/ciment;
- L'âge du béton;
- La nature et le dosage en ciment;
- La nature minéralogique des granulats;
- L'humidité ;
- Le dosage en eau;
- La température du béton et du milieu de travail;
- Les conditions de mise en œuvre et la qualité du contrôle sur chantier;
- L'adhérence de la pâte aux granulats (ciment/granat);
- Le diamètre maximal des granulats [25].

Chapitre V :

Partie pratique

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

I-Méthodologie et objectif de travail



CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

L'objectif de cette étude expérimentale est de contrôler et analyser les caractéristiques à l'état frais et l'état durci des bétons ordinaires destinés au précontraint avec un ajout de poudre de verre (transparent, opaque) utilisant deux classes de ciment CEM II (42.5 /52.5).

En premier lieu : nous avons choisi de faire varier le pourcentage de poudre de verre par rapport au point de ciment (0% ,10%,20%,30%).

En deuxième lieu : comparaison des résultats obtenus.

Les essais ont été réalisés au laboratoire d'Entreprise Nationale des Grands Ouvrages d'art **E.N.G.O.A REGHAIA, ALGER.**

II-Etude et contrôle des constituants

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux.

II-1- le ciment

On a utilisé deux types de ciment portland CEM II/A 42.5R, avec ajout de 17% de calcaire et un ciment CEM II/A 52.5R, avec ajout de 10% de calcaire dont les compositions chimiques et minéralogiques ainsi que les caractéristiques physico-mécaniques sont respectivement présentées dans les tableaux : [26]

- **Pour le ciment 42.5 : Provenant de la cimenterie de GICA ALGERIE.**

Tableau V. 1.Composition chimique du ciment 42.5

Composition chimique	Teneur %
SiO ₂	17.50
Al ₂ O ₃	5.17
Fe ₂ O ₃	2.92
CaO	60.21
MgO	1.87
K ₂ O	0.57

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Na ₂ O	0.18
SO ₃	2.59
CaO libre	1.43
Cl ⁻	0.02
Résidus insolubles	0.70
Perte au feu	8.63

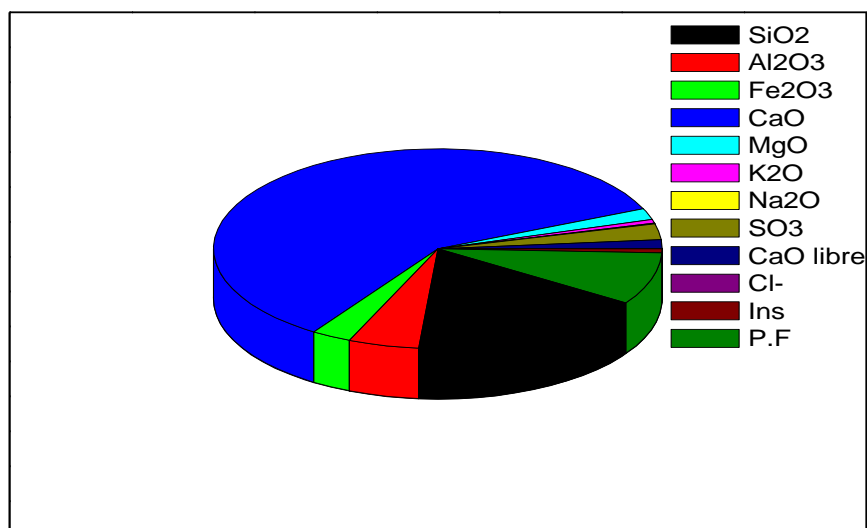


Figure V. 1. Composition chimique du ciment 42.5

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Tableau V. 2.Composition minéralogique du ciment 42.5

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapportée au Clinker%
Clinker	C ₂ S	56
	C ₃ S	20
	C ₃ A	06
	C ₄ AF	12
	CaO libre	01
Régulateur de prise	Gypse	05

Ajouts	Calcaire(L)	17
	-	-

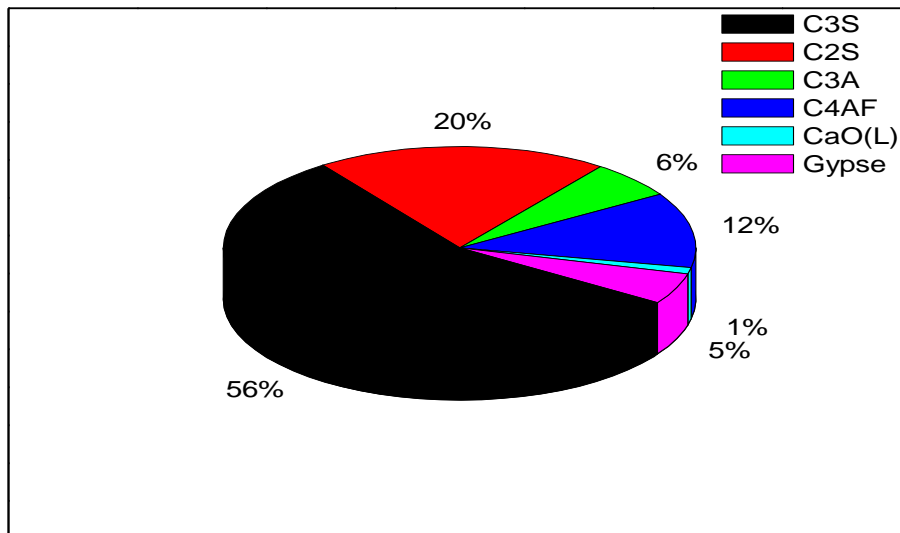


Figure V. 2 .Composition minéralogique du ciment 42.5

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Détermination de la consistance normale

La consistance normale sert à déterminer la quantité d'eau optimale, nécessaire pour former une pâte dite normale.

On a réalisé ce travail selon la norme « NF196-3 » les résultats sont obtenus

Tableau V. 3. Consistance normale du ciment 42.5

Echantillons	Consistance normale (%)
Valeur (témoin)	27.3

Caractéristiques physico-mécaniques du ciment

Tableau V. 4. Les caractéristiques physiques du ciment 42.5

Essai	Unité	Résultats
Consistance normalisée(%)	H ₂ O	27.3
Temps de prise (mn)	Début	165
	Fin	230
Stabilité (mm)	Froid	-
	Chaud	00
Essai de retrait (μ m/m)	03 jours	344
	07jours	478
	28jours	784
Essai de gonflement (μ m/m)	03jours	0
	07jours	0
	28jours	0
Masse volumique absolue du ciment (g/cm ³)		3.03
Finesse suivant la méthode de Blaine cm ² /g)		4242

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Tableau V. 5. Les caractéristiques mécaniques du ciment 42.5

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes(g)	3395.4	
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02jours	4.0	20.9
07jours	6.2	38.3
28jours	7.0	47.8

Commentaire

Le ciment portant le code CM 16 01301, est analysé par nos soins est un ciment portland composé, dont les caractéristiques physico mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CPJ CEM II/A 42.5 R selon la norme en vigueur [27].

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

➤ POUR LE CIMENT 52.5 : Provenant de la cimenterie de LAFARGE ALGER

Tableau V. 6.Composition chimique du ciment 52.5

Composition chimique	Teneur %
SiO ₂	20.84
Al ₂ O ₃	3.47
Fe ₂ O ₃	0.23
CaO	64.93
MgO	0.69
K ₂ O	0.50
Na ₂ O	0.08
SO ₃	2.51
CaO libre	1.600
Cl ⁻	0.072
Résidus Insolubles	0.48
Perte au feu	6.540

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

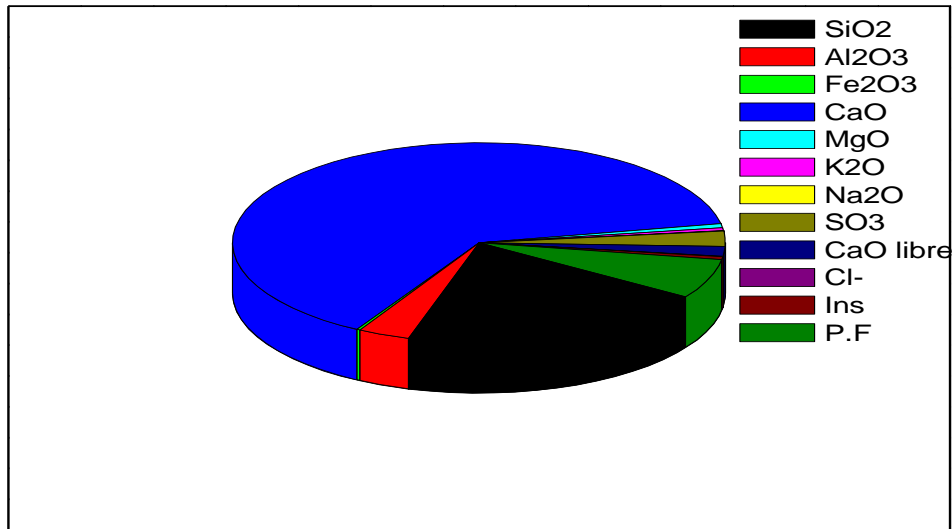


Figure V. 3.Composition chimique du ciment 52.5

Tableau V. 7.Composition minéralogique du ciment 52.5

Phase	Constituants minéraux du Clinker	Teneur rapportée au Clinker%
Clinker	C ₂ S	54
	C ₃ S	25
	C ₃ A	13
	C ₄ AF	-
	CaOL	02
Régulateur de prise	Gypse	06
Ajouts	Calcaire(L)	10
	-	-

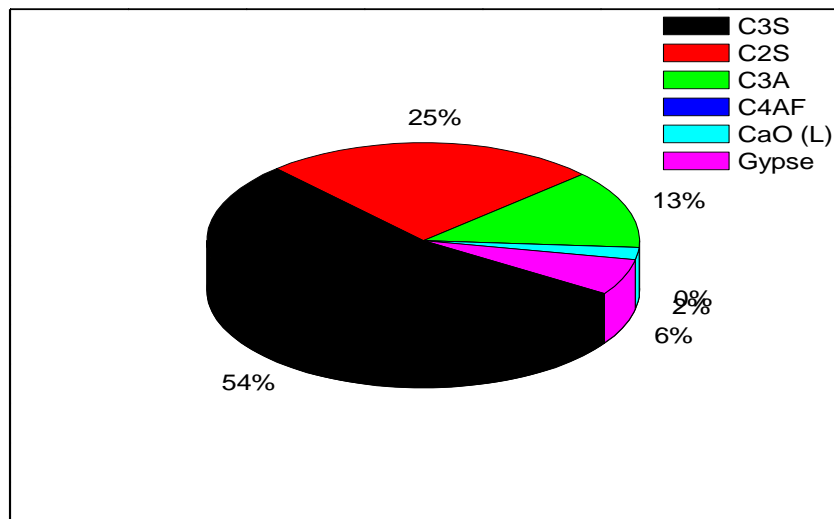


Figure V. 4.Composition minéralogique du ciment 52.5

Détermination de la consistance normale

La consistance normale sert à déterminer la quantité d'eau optimale, nécessaire pour former une pâte dite normale.

On a réalisé ce travail selon la norme NF196-3, les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau V. 8.Consistance normale du ciment 52.5

Echantillons	Consistance normale(%)
VT (témoin)	29.2

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Caractéristiques physico-mécaniques du ciment

Tableau V. 9. Résistances mécaniques du mortier témoin du ciment 52.5

Masse totale au démoulage des 06 éprouvettes (g)		3425.7
Echéances en jours	Flexion (N/mm ²)	Compression (N/mm ²)
02	4.0	30.3
07	6.2	44.7
28	7.0	57.2

Tableau V. 10. Les caractéristiques physiques du ciment 52.5

Essai	Unité	Résultats
Consistance normalisée(%)	H ₂ O	29.2
Temps de prise (mn)	Début	155
	Fin	270
Stabilité (mm)	Froid	-
	Chaud	0.0
Essai de retrait ($\mu m/m$)	03 jours	222
	07jours	463
	28jours	869
Essai de gonflement ($\mu m/m$)	03jours	0
	07jours	0
	28jours	0
Masse volumique absolue du ciment (g/cm ³)		3.03
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g)		4752

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Commentaire

Le ciment portant le code CM 15 06820 est analysé par nos soins est un ciment portland composé (ciment blanc), dont les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques satisfont aux exigences des ciments CPJ CEM II/A 52.5 R selon norme en vigueur.

II-2-La poudre de verre

Provenant essentiellement de verre sodocalcique, provenant de l'usine de verre de Ténia. La poudre de verre est obtenue après le broyage de débris de verre ramassés dans un broyeur de la FSI. Sa teneur en silice amorphe SiO_2 lui confère des propriétés pouzzolaniques en se combinant avec la chaux pour produire d'autres hydrates. Le broyage a duré 50min pour aboutir à une finesse acceptable.

II-2-1-Les caractéristiques physico-chimiques de la poudre de verre :

On a utilisé deux types de poudre de verre (VR transparent, VR opaque). Ses caractéristiques sont illustrées dans les tableaux suivants :

- **L'analyse chimique de la poudre de verre effectué par fluorescence X (CETIM Boumerdès).**

Tableau V. 11.Composition chimique du verre

Nom d'échantillon	Poudre de verre	
	Transparent	Opaque
Perte au feu	0.2200	0.2000
SiO_2	74.42	72.99
Al_2O_3	1.03	0.23
Fe_2O_3	0.34	0.28
CaO	9.14	10.04
MgO	2.04	1.46

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

SO ₃	0.20	0.38
K ₂ O	0.56	0.02
Na ₂ O	12.03	14.37
P ₂ O ₃	0.01	0.01
TiO ₂	0.02	0.02
Total	100.00	100.00

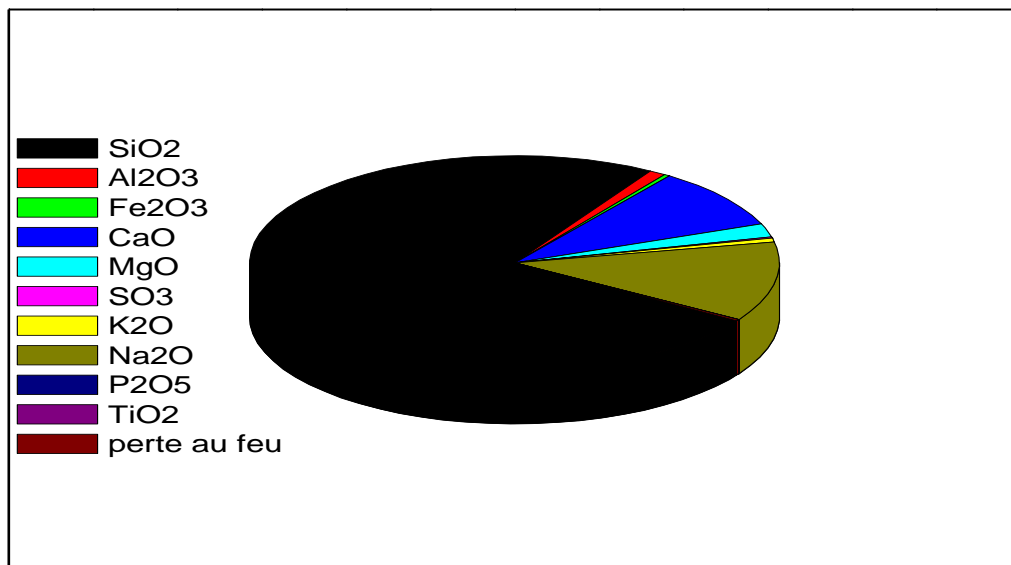


Figure V. 5: Composition chimique du verre transparent

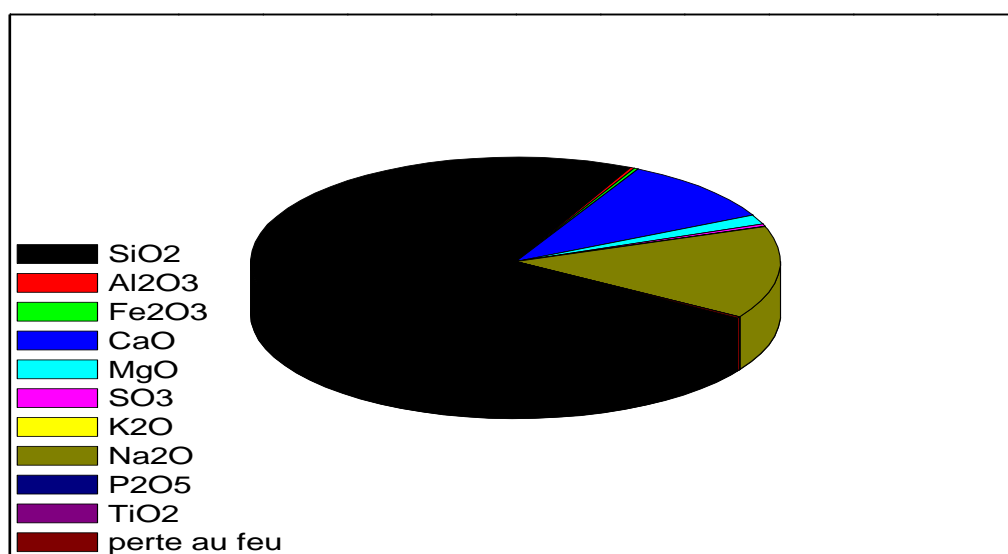


Figure V. 6.Composition chimique du verre opaque

II-2-2-Les caractéristiques physiques de la poudre de verre

Tableau V. 12.Caractéristiques physiques de la poudre de verre

Caractéristiques		Mv (g/cm ³)	SSB (cm ² /g)	Couleur
Poudre de verre	Transparent	2.48	4818	Blanche
	Opaque	2.51	4827	Blanche

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

II-3-SABLE ET GRAVIER

A-Sable 0/3 de KADDARA

Tableau V. 13. Caractéristiques physiques :

CARACTERISTIQUES	RESULTATS	UNITES
MASSE VOLUMIQUE	2,64	g/cm ³
Propreté superficielle	/	%
ESV	83,34	%
ESP	80	%
Abs	/	%
POROSITE	/	%

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Tableau V. 14. Analyse granulométrique.

OUVERTURE DES TAMIS	POIDS (G)		TENEURS (%)		Mf
	Refus partiel	Refus cumulé	Refus cumulé	Tamisas cumulés	
6,3	00	00	00	100	2.82
5	1.8	1.8	1.8	99.82	
2.5	30.5	32.3	3.23	96.77	
1.25	356.1	388.4	38.84	61.16	
0.63	254.9	643.3	64.33	35.67	
0.315	168.3	811.6	81.16	18.84	
0.16	126.2	937.8	93.78	6.22	
0.08	51	988.8	89.88	1.12	

D'après ces résultats, on calcule le module de finesse du sable: $MF = \sum \text{refus}(\%) / 100\%$
(dans l'intervalle de tamis entre [5mm – 0.16mm])

calcul :

$$MF = (1.8+3.23+38.84+64.33+81.16+93.78) / 100 \%$$

$$MF = 2.82$$

on remarque que MF est comprise dans l'intervalle [2.2 – 3.2] ,

Commentaire : Notre sable a un bon module de finesse.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

B-Gravier 3/8 de KADDARA

Tableau V. 15.Caractéristiques physiques

CARACTERISTIQUES	RESULTATS	UNITES
Masse volumique	2.64	g/cm ³
Propreté superficielle	1.7	-
ABS	0.35	-
Coefficient d'aplatissement	/	-

Tableau V. 16.Analyse granulométrique du gravier 3/8 de KADDARA

OUVERTURE DES TAMIS	POIDS (G)		TENEURS (%)	
	Refus partiel	Refus cumulé	Refus cumulés	tamisas
10	0	0	0	100
8	21.4	21.4	2.14	97,86
6.30	262.5	283.9	28.39	71.61
5	410.2	694.1	69.41	30.59
2.5	301	995.1	99.51	0.49
1.25	2.9	998	99.8	0.2

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

C-GRAVIER 8/15 (KADDARA)

Tableau V. 17.Caractéristiques physiques

CARACTERISTIQUES	RESULTATS	UNITES
Masse volumique	2.64	g/cm ³
Los Angeles	22.75	%
Absorption	0.35	%
Propreté superficielle	1.55	-
Coefficient d'aplatissement	11.2	-

Tableau V. 18.Analyse granulométrique

OUVERTURE DES TAMIS	POIDS (G)		TENEURS (%)	
	Refus partiel	Refus cumulés	Refus cumulés	tamisats
16	0	0	0	100
12,5	90.4	90.4	9.04	90.96
10	356.8	447.2	44.72	55.28
8	364.9	812.1	81.21	18.79
6,3	176.6	988.7	98,87	1.13
5	7.7	996.4	99.64	0.36

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

D-GRAVIER 15/25 (KADDARA)

Tableau V. 19.Caractéristiques physiques

CARACTERISTIQUES	RESULTATS	UNITES
Masse volumique	2.66	g/cm ³
Los Angeles	22.75	%
Absorption	0.4	%
Propreté superficielle	0.62	-
Coefficient d'aplatissement	8.86	-

Tableau V. 20.Analyse granulométrique

OUVERTURE DES TAMIS	POIDS (G)		TENEURS (%)	
	Refus partiel	Refus cumulés	Refus cumulés	tamisats
31.5	0	0	0	100
25	13.8	13.8	1.38	98.62
20	387.9	401.7	40.17	59.83
16	346.9	748.6	74.86	25.14
12.5	236.1	984.7	98,47	1.53
10	12.37.7	997	99.7	0.3

II-4- Eau de gâchage

L'eau utilisée pour gâcher notre béton est l'eau potable de la ville d'Alger, on a pris la précaution de constater sa propreté et son odeur, visuellement, elle apparaissait bonne pour être utilisé.

II-5- L'adjuvant

ADVA Flow 390 Superplastifiant – Haut réducteur d'eau à long maintien de rhéologie / Conforme à la norme EN 934-2(T3.1-3.2) ASTM C494 type A et type F (d'après CNERIB, c'est un adjuvant à base de polycarboxylate)

Description

L'ADVA Flow 390 est un Superplastifiant haut réducteur d'eau de nouvelle génération. Il est conçu à base de polycarboxylate qui améliore considérablement les propriétés des bétons prêt à l'emploi. **L'ADVA Flow 390** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable. **L'ADVA Flow 390** ne présente pas d'effet retardateur.

Caractéristiques :

- Forme Liquide
- Couleur Jaunâtre
- pH 6 – 6,5
- Densité $1,05 \pm 0,02$. 20°C
- Teneur en chlore < 0.1%

Propriétés et effets

Grâce à ses propriétés **l'ADVA Flow 390** permet :

- Sur béton frais :
 - l'obtention d'un E/C très faible
 - l'amélioration considérable de la fluidité
 - une très bonne maniabilité
 - un long maintien de l'ouvrabilité
 - d'éviter la ségrégation
 - de faciliter la mise en œuvre du béton
- Sur béton durci :
 - d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme
 - de diminuer la porosité

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait et le risque de fissuration

Domaines d'application

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant et autonivellants
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux

Dosage

Plage de dosage recommandée : de 500 à 1500ml pour 100kg de ciment (0,5 à 1.5 % du poids de ciment).

Les effets du produit dépendent de la quantité introduite. Des essais préalables utilisant les matériaux du site sont donc nécessaires pour optimiser les dosages et atteindre les propriétés recherchées (cohésion, ouvrabilité, début de prise, résistance initiale et finale, retrait...).

Mode d'emploi

L'ADVA Flow 390 est introduit dans l'eau de gâchage. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

Compatibilité et addition des ingrédients :

ADVA Flow 390 ne doit pas être mélangé avec d'autres adjuvants. Ces performances en seraient affectées.

Conclusion

Suivant les résultats obtenus, après caractérisation des différents constituants à savoir (sable, graviers, ciment, poudre de verre), on peut conclure que ces derniers sont conformes pour leur emploi dans les bétons en général.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Méthode pratique pour la composition des bétons, méthode de « DREUX-GORISSE »

I- Le ciment 42.5

Sur la base des données ci-dessous, on calcule la composition du béton par la méthode de DREUX-GORISSE :

- Résistance nominale du béton : $R_N=35\text{MPa}$
- Ouvrabilité désirée du béton : Béton plastique.
- Résistance vraie du ciment à 28jours : $R_c=42.5$.
- Vibration normale.
- Granulats concassés.
- Qualité des granulats : Bonne, Courante.

Résistance visée

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée. Ainsi la résistance visée, $R_N=35\text{MPa}$

$$R_{b28}=R_N+15\%R_N$$

$$R_{b28}=1.15R_N \quad \Longrightarrow \quad R_{b28}=40.25\text{MPa}$$

Dosage en ciment et en eau

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats.

Ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

$$R_{b28}=G.R_c(C/E-0.5)$$

Avec:

R_{b28} : résistance visée à 28 jours

C: dosage du ciment en kg/m^3 de béton

E: dosage de l'eau en l/m^3 de béton

R_c : Classe vraie du ciment en MPa ($R_c=42.5\text{MPa}$)

G : coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats ($G=0.5$)

$$R_{b28}=1.15R_N$$

$$\text{Donc : } C/E = \frac{R_{b28}}{G.R_c} + 0.5$$

$$C/E=2.39$$

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

➤ Pour notre béton on a choisi

Dosage du ciment : 420kg/m³.

L'ouvrabilité : Ac=8cm.

Le rapport E/C=0.38

Le dosage en eau s'en déduit : E/C=0.38 avec C=420kg, E=C*0.38 E=420*0.38=159.6kg d'eau, soit 159.6l d'eau.

Veau=159.6l

On trace la courbe granulaire de référence sur un graphique d'analyse granulométrique type AFNOR (linéaire en module et logarithmique en dimension des granulats), la courbe peut être entièrement déterminée à partir de seulement trois points appelés respectivement, O, origine, A, point de brisure, et B, extrémité.

Le point d'origine, O est fixé à 0% de tamisât sur le plus petit tamis, 0.080mm. Ce point est

repéré par ses coordonnées : $O = \begin{cases} X = 0mm \\ Y = 0\% \end{cases}$

- Le point(B) à l'ordonnée 100% correspond à la dimension D max=31.5mm.

$B = \begin{cases} X = 31.5mm \\ Y = 100\% \end{cases}$

- Le point de brisure (A) a pour coordonnées :

- Abscisse : On a $D \geq 25mm$, donc

$$X = \frac{D}{2} = 12.5cm$$

- Ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{D_{max}} + K + K_p + K_s$$

$$K=0 / K_s=1.92 / K_p=5 \implies Y=49.92$$

$A = \begin{cases} X = 12.5mm \\ Y = 49.92\% \end{cases}$

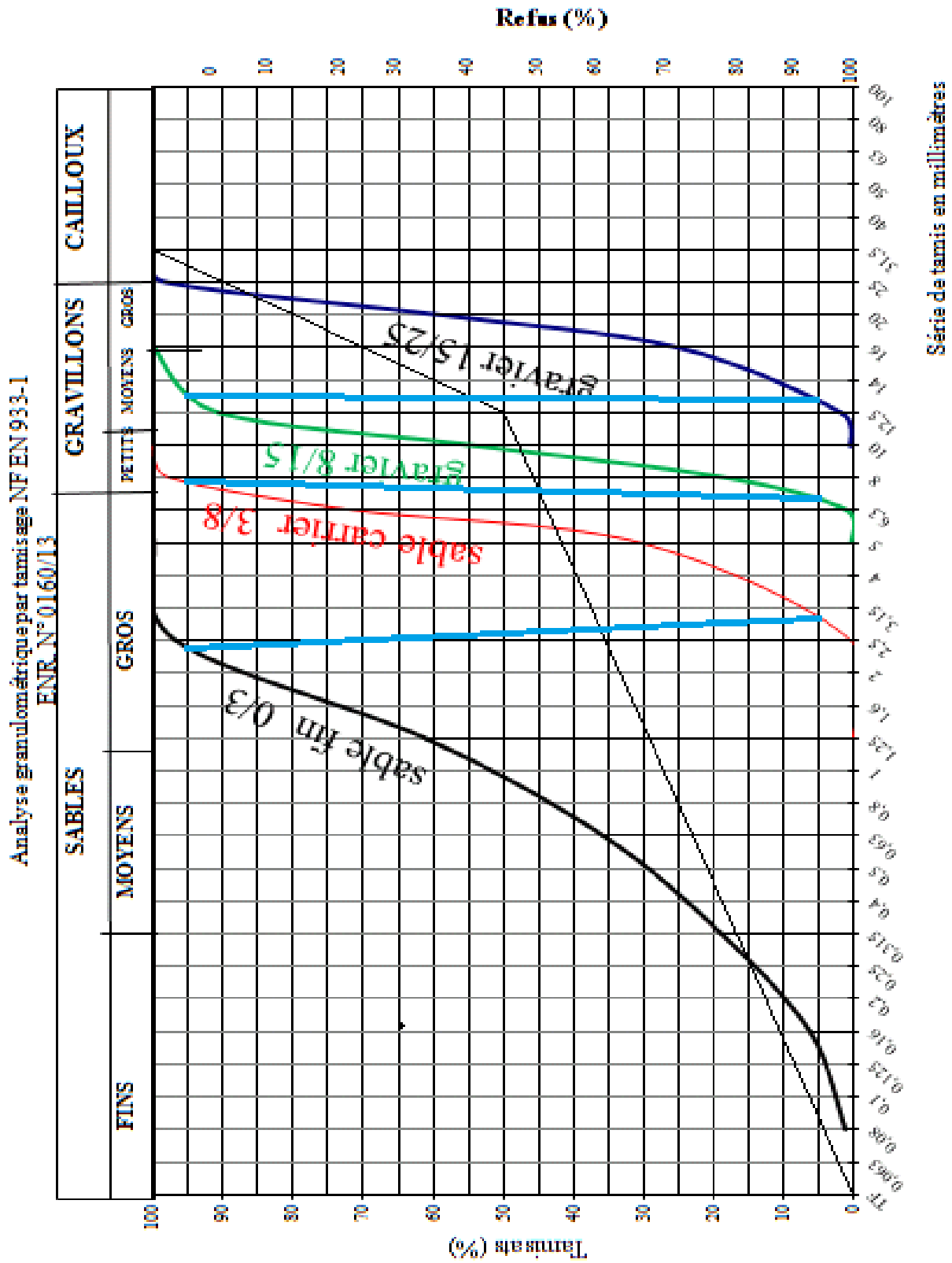


Figure V. 7. Courbe granulométrique

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

- Les proportions de sable et de gravier nécessaire obtenu à partir d'une méthode graphique appelée la ligne de partage sont :

Le sable (0/3) :38.30%

Le gravier (3/8) :8%

Le gravier (8/15) :10%

Le gravier (15/25) :43.7%

Après correction

Le sable (0/3) :38.30%

Le gravier (3/8) :10.08%

Le gravier (8/15) :21.16%

Le gravier (15/25) :31.01%

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V_{abs} = 1000\gamma - V_c$$

Avec : V_c volume du ciment et $V_c = C / \rho_c$ (ρ_c : masse spécifique du ciment).

$$\rho_c = 3.03 \text{g/cm}^3 / C = 420 \text{kg}$$

$$\text{DONC : } V_c = 420 / 3.03 = 138.61 \text{ l}$$

$$V_{abs} = 1000(0.825) - 138.61$$

$$V_{abs} = 686.39 \text{ l}$$

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite

-Sable 0/3: $V_s(\text{en litre}) = P_s \% V_{abs}$ ou P_s : le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

$$\text{Donc : } V_{0/3} = P_s \% V_{abs} = 38.30 * 686.39 / 100 = 258.29 \text{ l}$$

-Gravier 3/8 : $V_{3/8}(\text{en litre}) = P_{3/8} \% V_{abs}$ ou $P_{3/8}$: le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

$$\text{Donc: } V_{3/8} = P_s \% V_{abs} = 10.08 * 686.39 / 100 = 70.01 \text{ l}$$

-Gravier 8/15 : $V_{8/15}(\text{en litre}) = P_{8/15} \% V_{abs}$ ou $P_{8/15}$: le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

$$\text{Donc: } V_{8/15} = P_s \% V_{abs} = 21.16 * 686.39 / 100 = 147.57 \text{ l}$$

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Gravier 15/25 : $V_{15/25}$ (en litre)= P_{15/25}% V_{abs} ou P_{15/25} : le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

Donc: $V_s 15/25 = P_s \% V_{abs} = 31.01 * 686.39 / 100 = 210.52 \text{ l}$

Dosage en masses de chaque constituant :

On a : $\rho_c = M/V \implies M = \rho_c * V$

Tableau V. 21. Dosage en masses des constituants pour 1 m³ de béton

Constituants	Masse volumiques (g/cm ³)	La masse (kg)
Ciment	3.03	420
Sable (0/3)	2.64	707.39
Gravier (3/8)	2.64	186.16
Gravier (8/15)	2.64	390.95
Gravier (15/25)	2.66	577.12

II- Le ciment 52.5

Sur la base des données ci-dessous, on calcule la composition du béton par la méthode de DREUX-GORISSE :

- Résistance nominale du béton : RN=35MPa
- Ouvrabilité désirée du béton : Béton plastique.
- Résistance vraie du ciment à 28jours : Rc=52.5MPa.
- Vibration normale.
- Granulats concassés.
- Qualité des granulats : Bonne, Courante.

Résistance visée

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée.

Ainsi la résistance visée, RN=35MPa

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

$$R_{b28} = R_N + 15\% R_N$$

$$R_{b28} = 1.15 R_N$$

$$R_{b28} = 40.25 \text{ MPa}$$

Dosage en ciment et en eau

Le dosage en eau et ciment dépend de la résistance visée, et de la qualité du ciment et des granulats.

Ainsi expérimentalement, on établit une relation entre l'ensemble de ces paramètres.

$$R_{b28} = G \cdot R_c (C/E - 0.5)$$

Avec:

R_{b28} : résistance visée à 28 jours

C: dosage du ciment en kg/m^3 de béton

E: dosage de l'eau en l/m^3 de béton

R_c : Classe vraie du ciment en MPa ($R_c = 52.5 \text{ MPa}$)

G : coefficient granulaire. Ce coefficient représente la qualité des granulats. ($G = 0.5$)

$$R_{b28} = 1.15 R_N$$

$$\text{Donc : } C/E = \frac{R_{b28}}{G \cdot R_c} + 0.5$$

$$C/E = 2.02$$

Pour notre béton on a choisi :

Dosage du ciment : 380 kg/m^3 .

L'ouvrabilité : $A_c = 8 \text{ cm}$.

Le rapport $E/C = 0.38$

Le dosage en eau s'en déduit : $E/C = 0.38$ avec $C = 380 \text{ kg}$, $E = C \cdot 0.38$ $E = 380 \cdot 0.38 = 145 \text{ kg}$ d'eau, soit 145 l d'eau.

$$V_{\text{eau}} = 145 \text{ l}$$

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

- Les proportions de sable et de gravier nécessaire obtenu à partir d'une méthode graphique appelée la ligne de partage sont :

Le sable (0/3) :38.30%

Le gravier (3/8) :8%

Le gravier (8/15) :10%

Le gravier (15/25) :43.7%

Après correction :

Le sable (0/3) :38.30%

Le gravier (3/8) :10.08%

Le gravier (8/15) :21.16%

Le gravier (15/25) :31.01%

Le volume absolu de l'ensemble des granulats est :

$$V_{abs} = 1000\gamma - V_c$$

Avec : V_c volume du ciment et $V_c = C / \rho_c$ (ρ_c : masse spécifique du ciment).

$$\rho_c = 3.03 \text{g/cm}^3 / C = 380 \text{kg}$$

$$\text{DONC : } V_c = 380 / 3.03 = 125.41 \text{ l}$$

$$V_{abs} = 1000(0.825) - 125.41$$

$$V_{abs} = 699.59 \text{ l}$$

Les volumes absolus de chacun des granulats sont par suite

- Sable 0/3: $V_s(\text{en litre}) = P_s \% V_{abs}$ ou P_s : le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

$$\text{Donc : } V_{0/3} = P_s \% V_{abs} = 38.30 * 699.59 / 100 = 267.95 \text{ l}$$

- Gravier 3/8 : $V_{3/8}(\text{en litre}) = P_{3/8} \% V_{abs}$ ou $P_{3/8}$: le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

$$\text{Donc : } V_{3/8} = P_s \% V_{abs} = 10.08 * 699.59 / 100 = 70.51 \text{ l}$$

- Gravier 8/15 : $V_{8/15}(\text{en litre}) = P_{8/15} \% V_{abs}$ ou $P_{8/15}$: le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

$$\text{Donc : } V_{8/15} = P_s \% V_{abs} = 21.16 * 699.59 / 100 = 148.08 \text{ l}$$

- Gravier 15/25 : $V_{15/25}(\text{en litre}) = P_{15/25} \% V_{abs}$ ou $P_{15/25}$: le % du sable obtenu à partir de la courbe granulométrique.

$$\text{Donc : } V_{15/25} = P_s \% V_{abs} = 31.01 * 699.59 / 100 = 216.96 \text{ l}$$

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Dosage en masses de chaque constituant

On a : $\rho_c = M/V \implies M = \rho_c * V$

Tableau V. 22. Dosage en masses des constituants pour 1 m³ de béton

Constituants	Masse volumique (g/cm ³)	La masse (kg)
Ciment	3.03	380
Sable (0/3)	2.64	707.39
Gravier (3/8)	2.64	186.16
Gravier (8/15)	2.64	390.95
Gravier (15/25)	2.66	577.12

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

III-COMPOSITION DES BETONS

Tableau V. 23.Composition des bétons

Type de béton	Type de ciment	Ciment (kg/m ³)	Affaissement (cm)	Poudre de verre		Superplastifiant (kg)
				(%)	(kg)	
Béton ordinaire	42.5	420	15	0	0	4.2
	52.5	380	18	0	0	3.8
Béton avec verre transparent	42.5	420	13	10	42	4.2
			12	20	84	
			10	30	126	
	52.5	380	15	10	38	3.8
			12	20	76	
			9	30	114	
Béton avec verre opaque	42.5	420	15	10	42	4.2
			12	20	84	
			8	30	126	
	52.5	380	17	10	38	3.8
			14	20	76	
			7	30	114	

Les étapes d'élaboration du mélange

1-Verser les trois types de graviers 15/25 puis 8/15 ensuite 3/8 dans le malaxeur.

2-Verser le ciment.

3-Ajouter la poudre de verre.

4-Verser le sable.

5- Malaxer pendant 1 min puis ajouter l'eau lentement, ensuite ajouter l'adjuvant et continuer le malaxage durant 4min.

6-Remplir les éprouvettes.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Désignation

- BO : béton ordinaire témoin avec ciment 42.5 et 0% d'ajout.
- BO 10% PV transparent: béton ordinaire avec ciment 42.5 et 10% d'ajout.
- BO 20% PV transparent: béton ordinaire avec ciment 42.5 et 20% d'ajout.
- BO 30% PV transparent: béton ordinaire avec ciment 42.5 et 30% d'ajout.
- BO 10% PV opaque: béton ordinaire avec ciment 42.5 et 10% d'ajout.
- BO 20% PV opaque: béton ordinaire avec ciment 42.5 et 20% d'ajout.
- BO 30% PV opaque: béton ordinaire avec ciment 42.5 et 30% d'ajout.
- BO : béton ordinaire témoin avec ciment 52.5 et 0% d'ajout.
- BO 10% PV transparent: béton ordinaire avec ciment 52.5 et 10% d'ajout.
- BO 20% PV transparent: béton ordinaire avec ciment 52.5 et 20% d'ajout.
- BO 30% PV transparent: béton ordinaire avec ciment 52.5 et 30% d'ajout.
- BO 10% PV opaque: béton ordinaire avec ciment 52.5 et 10% d'ajout.
- BO 20% PV opaque: béton ordinaire avec ciment 52.5 et 20% d'ajout.
- BO 30% PV opaque: béton ordinaire avec ciment 52.5 et 30% d'ajout.

Abréviation (Cette abréviation sera utilisée le long de cette étude.)

BO : Béton ordinaire

PV : Poudre de verre

PV TR : Poudre de verre transparent

PV OP : Poudre de verre opaque

IV-Propriétés des bétons

IV-1-L'affaissement



Figure V. 8.L'essai de l'affaissement (cône d'ABRAMS)

A-Béton avec poudre de verre transparent

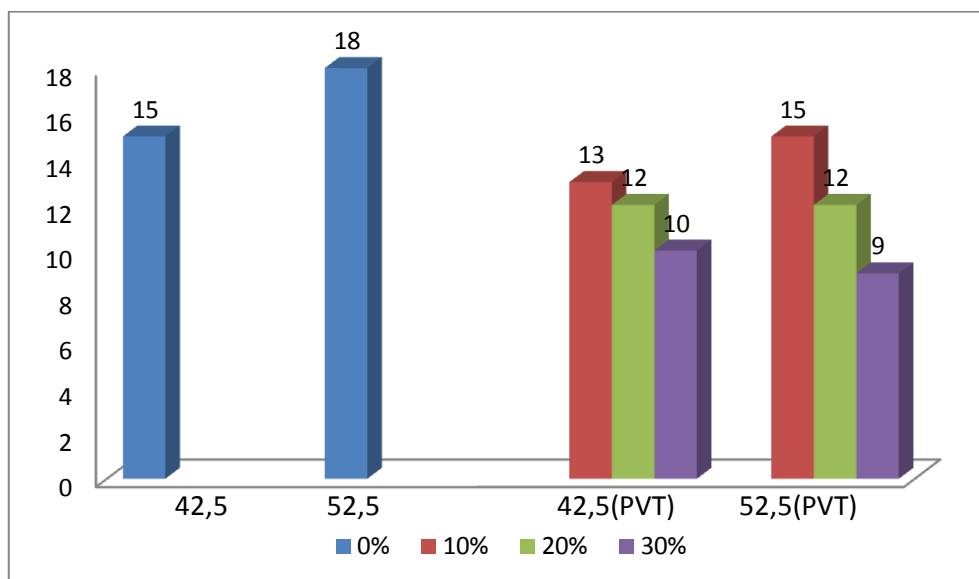


Figure V. 9.L'affaissement en fonction du pourcentage de la poudre de verre au cône d'ABRAMS

B-Béton avec poudre de verre opaque

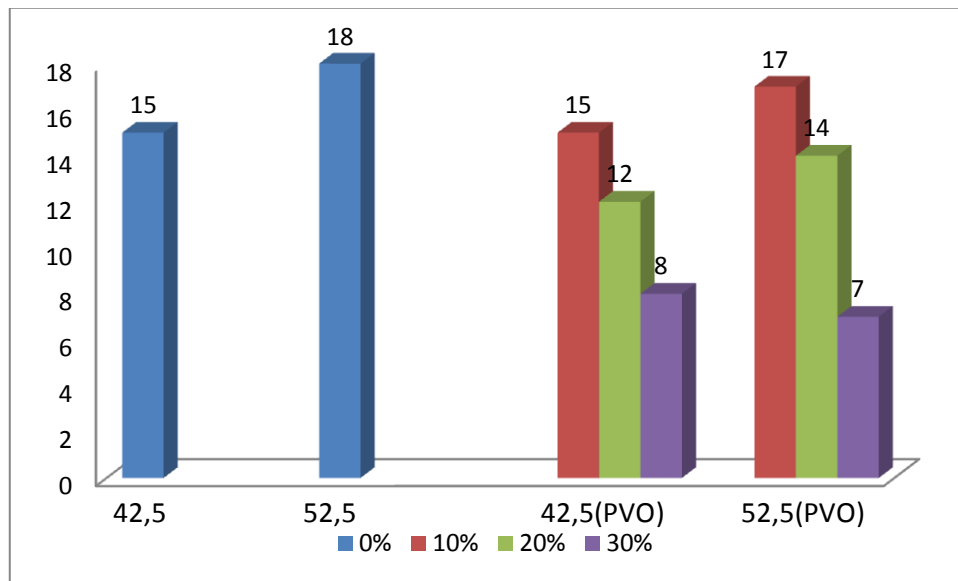


Figure V. 10.L'affaissement en fonction de pourcentage de poudre de verre au cône d'ABRAMS

Commentaire : On remarque une diminution de l'affaissement lorsqu'on augmente le pourcentage de la poudre de verre, il faut de grandes quantités d'eau pour mouiller et diminuer le frottement entre les grains et transformer les fines du ciment en une pâte plastique capable d'occuper l'espace inter granulaire.

Remarque : On n'observe aucune différence entre l'effet de la poudre de verre transparent et opaque car elles ont presque la même finesse. Donc le pourcentage utilisé et la finesse du matériau ont une très grande influence sur le comportement du béton frais.

IV-2- La masse volumique

La masse volumique des bétons a été déterminée par la formule suivante :

$$\varphi = \frac{M}{V} \text{ (M est la masse de l'éprouvette et V son volume),}$$

- La masse volumique à l'état frais : mesurée après le moulage des éprouvettes.
- La masse volumique à l'état durci : calculée après le démoulage.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Les résultats sont inscrits dans les tableaux :

A-Béton avec poudre de verre transparent

Tableau V. 24. Masse volumique aux états frais et durci

Type de béton		Masse volumique du béton frais (kg/m ³)	Masse volumique Béton durci (kg/m ³)	
Témoin	Ciment (42.5)	2488	2492	
	Ciment (52.5)	2488	2490	
Poudre de verre Transparent	Ciment (42.5)	10%	2473	2488
		20%	2488	2500
		30%	2488	2500
	Ciment (52.5)	10%	2488	2503
		20%	2488	2510
		30%	2488	2503

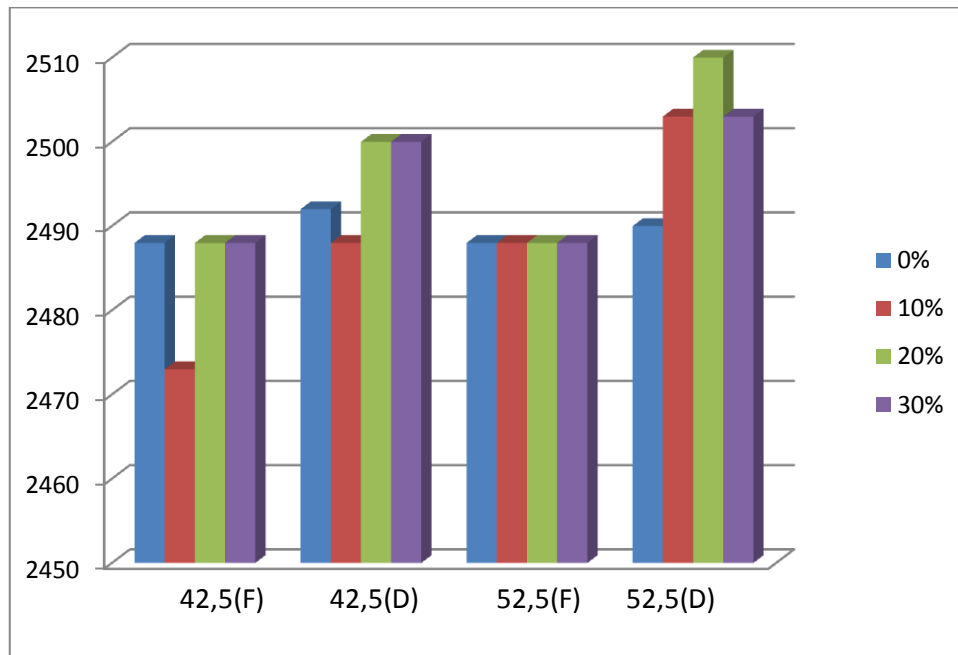


Figure V. 11. Masse volumique aux états frais et durci des bétons avec PV transparent

Commentaire : On constate une augmentation non significative de la masse volumique du béton avec poudre de verre par rapport au témoin à l'état frais et à l'état durci, cela est dû à l'effet de remplissage par les ajouts dans le béton qui ont une finesse plus grande que celle du ciment

Ces résultats sont concordants avec les données bibliographiques sur l'évolution de la masse volumique en fonction du pourcentage et la finesse d'ajout.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

B-Béton avec poudre de verre opaque

Tableau V. 25. Masse volumique aux états frais et durci

Type de béton		Masse volumique du béton frais (kg/m ³)	Masse volumique béton durci (kg/m ³)
Témoin	Ciment (42.5)	2488	2492
	Ciment (52.5)	2488	2490
Poudre de verre opaque	Ciment (42.5)	10%	2473
		20%	2426
		30%	2488
	Ciment (52.5)	10%	2488
		20%	2488
		30%	2488

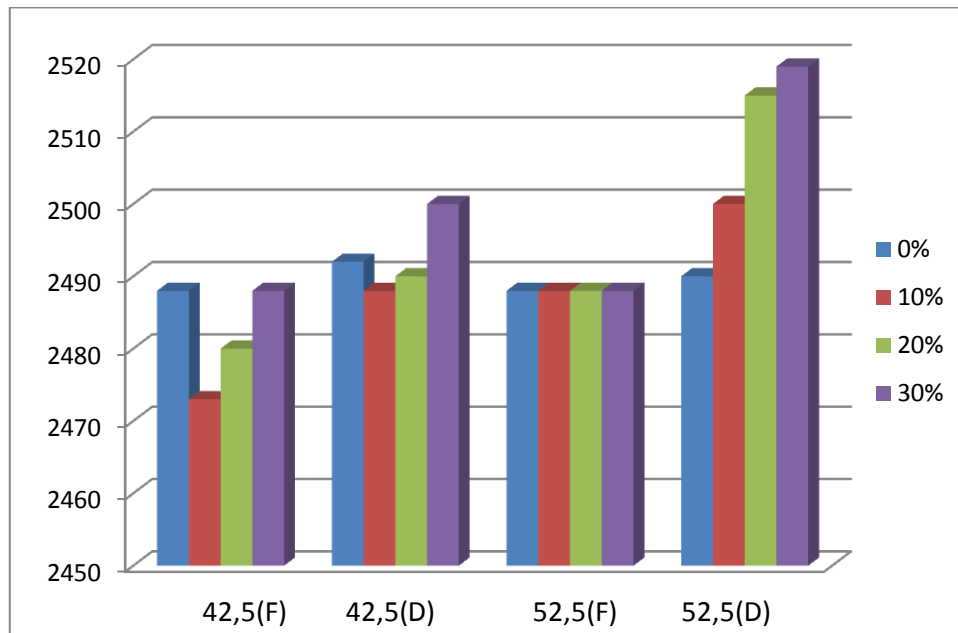


Figure V. 12. Masse volumique aux états frais et durci avec PV opaque

Commentaire : On constate une amélioration non significative de la masse volumique du béton de la poudre de verre par rapport au témoin à l'état frais et à l'état durci, cela du à l'effet de remplissage des ajouts dans le béton à cause de sa finesse qui est plus grand à celle du ciment. Ces résultats confirment bien les notions théoriques sur l'évolution de la masse volumique en fonction du pourcentage et la finesse et la masse volumique d'ajout.

Remarque : On observe une légère différence de l'effet des poudres de verre transparent et opaque, car elles ont presque les mêmes finesse et masse volumique.

Par fois on a obtenu des résultats ne pas correspondre aux notions d'évolution de la masse volumique à cause de remplissage manuel.

IV-3-La résistance à la compression

Des éprouvettes cylindriques (16x32) ont été confectionnées puis démoulées après 24 heures, ensuite conservées dans l'eau à une température de 20 à 23 °C pendant 28 jours.

Les éprouvettes ont été écrasées aux différents âges (7, 28j), à l'aide d'une presse de charge maximum 2000KN.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

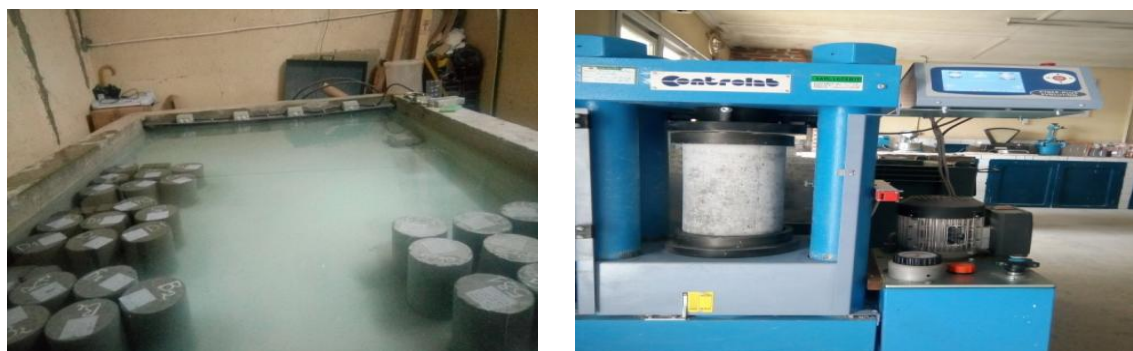


Figure V. 13. Conservation des éprouvettes dans l'eau potable (gauche) , la presse de compression (droite)

A-Pour les bétons avec ajout de la poudre de verre transparent

Tableau V. 26. La résistance à la compression des différents bétons

Type du béton			La résistance à la compression (MPa)	
			7j	28j
Témoïn	Ciment (42.5)		43.75	50.60
	Ciment (52.5)		54.71	60.06
Poudre de verre transparent	Ciment (42.5)	10%	45.86	60.27
		20%	48.33	60.34
		30%	47.57	61.01
	Ciment (52.5)	10%	55.95	69.37
		20%	54.40	66.65
		30%	57.43	77.29

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Les résultats de la résistance à la compression à 7, 28 jours sont illustrés sur les Figures V.14, V.15.

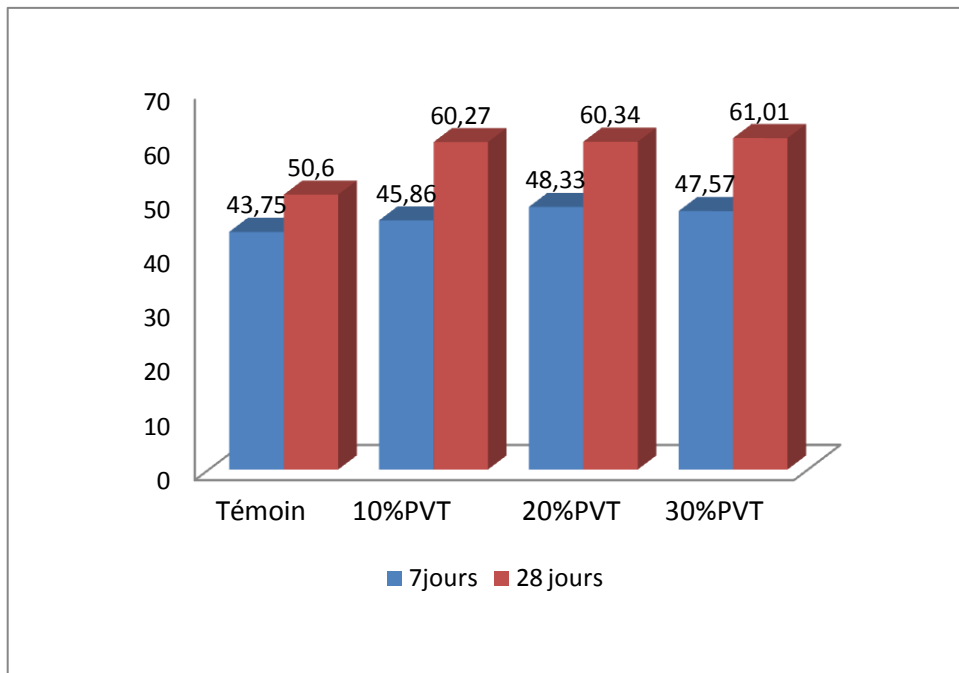


Figure V. 14.L'évolution de la résistance à la compression avec l'âge du béton pour le ciment 42.5

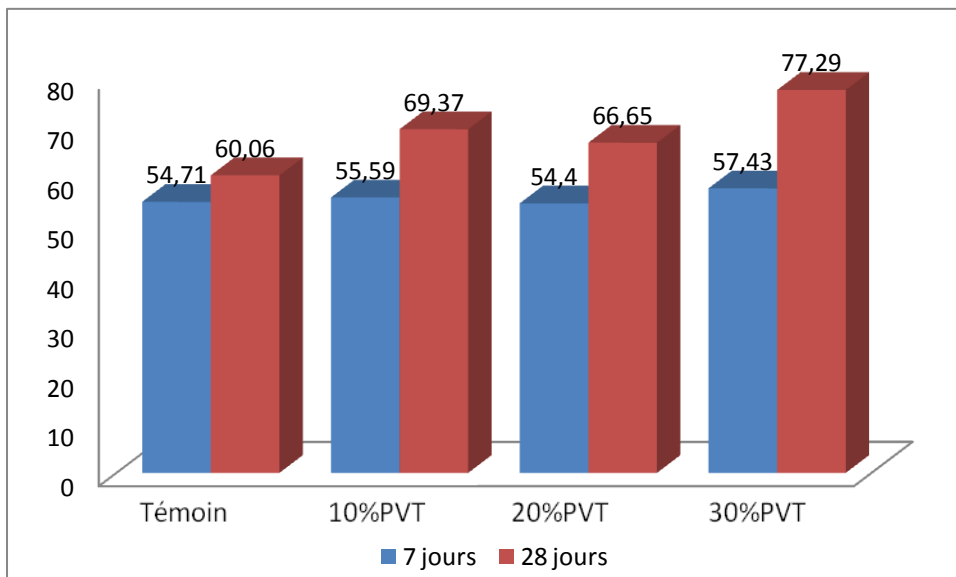


Figure V. 15.L'évolution de la résistance à la compression avec l'âge du béton

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Commentaire : Au jeune âge (7jours), la PV TR donne des améliorations non significatives de résistance avec les bétons à bases des ciments 42.5 et 52.5, mais à 28jours on a un gain de résistance 10MPa de la résistance comparé à un béton témoin.

B-Pour les bétons avec ajout de poudre de verre opaque

Tableau V. 27.La résistance à la compression des différents bétons

Type du béton		La Résistance à la compression (MPa)		
		7j	28j	
Témoin	Ciment (42.5)	43.75	50.60	
	Ciment (52.5)	54.71	60.06	
Poudre de verre Opaque	Ciment (42.5)	10%	48.71	58.84
		20%	48.63	62.10
		30%	53.26	65.44
	Ciment (52.5)	10%	59.36	72.55
		20%	60.42	75.65
		30%	64.21	80.22

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

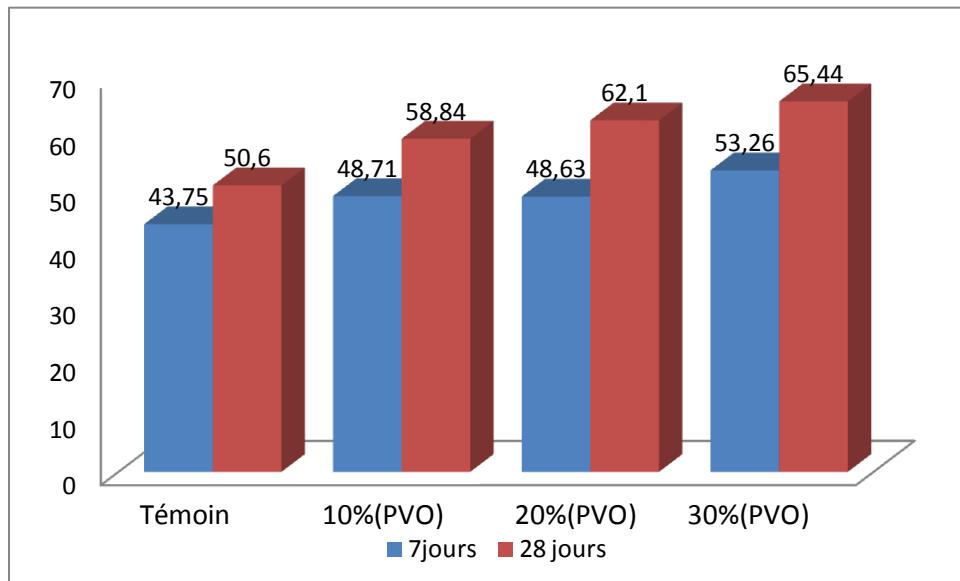


Figure V. 16.L'évolution de la résistance à la compression avec l'âge du béton pour le ciment 42.5

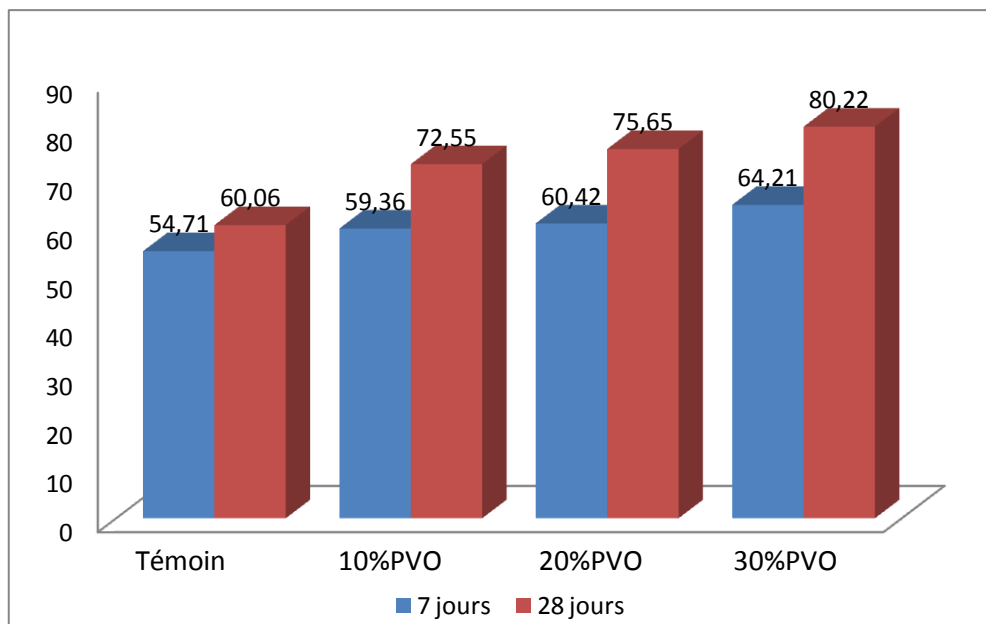


Figure V. 17.L'évolution de la résistance à la compression avec l'âge du béton pour le ciment 52.5

Commentaire : Au jeune âge (7jours), la PV OP donne des résistances améliorées avec les bétons à bases des ciments 42.5 et 52.5 jusqu'à 10MPa, et à 28jours on a un gain variant de 10MPa jusqu'à 20MPa de la résistance comparé avec un béton témoin.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Remarque : On a remarqué que la PV OP enrichit la résistance à la compression mieux que la PV TR.

Le mode de rupture obtenu sur l'ensemble des éprouvettes testées est illustré par la figure V.18, il est conforme aux normes d'essai.



Figure V. 18. Mode de fissuration des éprouvettes.

Les essais de flexion et traction par fendage :

IV-4-La résistance à la flexion :

L'essai de flexion est effectué sur des éprouvettes prismatiques (7 x 7 x 28), des éprouvettes prismatiques ont été confectionnées puis démoulées après 24 heures, ensuite conservées dans l'eau à une température de 20 à 23 °C.



Figure V. 19. La presse de flexion

L'écrasement à 7 et 28 jours a donné les résultats de Tableau V.27.

IV-5-La résistance à la traction par fendage :(selon la norme NF P 18-434)



Figure V. 20.Eprouvette soumis à l'essai de traction par fendage

Lors de l'essai de fendage, le cylindre du béton est placé à l'horizontale entre les plateaux de la presse et la charge est augmentée jusqu'à la rupture par traction indirecte, qui apparaît sous forme de fendage le long du diamètre vertical du cylindre.

L'essai de traction par fendage est effectué sur des éprouvettes cylindriques (16x32), l'écrasement à 28 jours a donné les résultats de tableau, sont calculés à l'aide de la formule

suivante : $\frac{2P}{\pi LD}$

L'écrasement à 7 et 28 jours a donné les résultats de Tableau V.27.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

A-Béton en poudre de verre transparent

Tableau V. 28. La résistance à la flexion et à la traction par fendage

Type du béton		La résistance à la traction par fendage (MPa)		La résistance à la flexion (MPa)	
				7j	28j
Témoin	Ciment (42.5)	4.90		5.12	5.80
	Ciment (52.5)	4.99		6.23	7.11
Poudre de verre transparent	Ciment (42.5)	10%	5.18	6.01	7.70
		20%	3.79	7.22	7.91
		30%	5.55	8.05	8.5
	Ciment (52.5)	10%	5.12	6.50	7.03
		20%	4.88	7.02	9.42
		30%	5.61	8.23	11.16

Les résultats sont illustrés dans les figures V.21, V.22, V.23.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

➤ Pour la flexion

Figure V. 21.L'évolution de la résistance à la flexion avec l'âge du béton pour le ciment 42.5

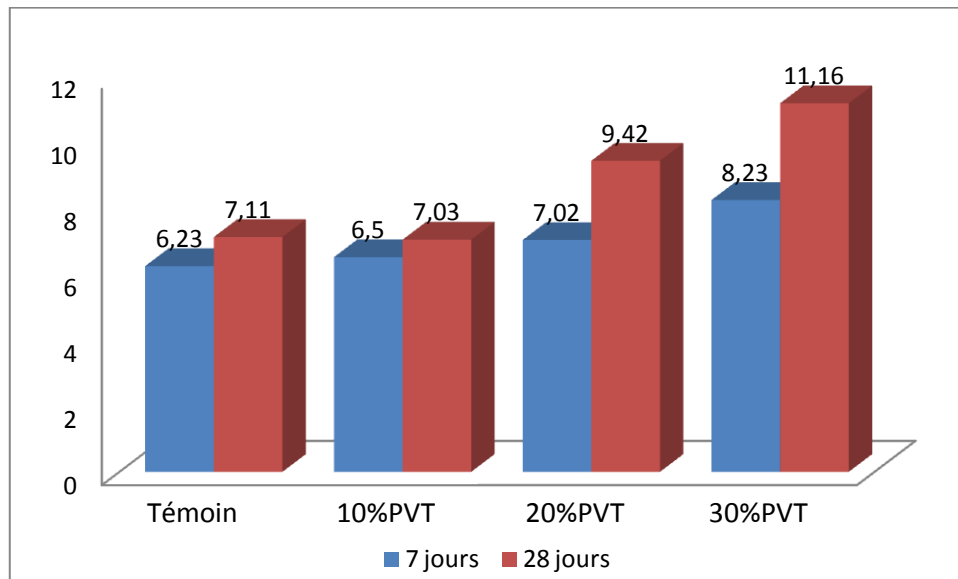
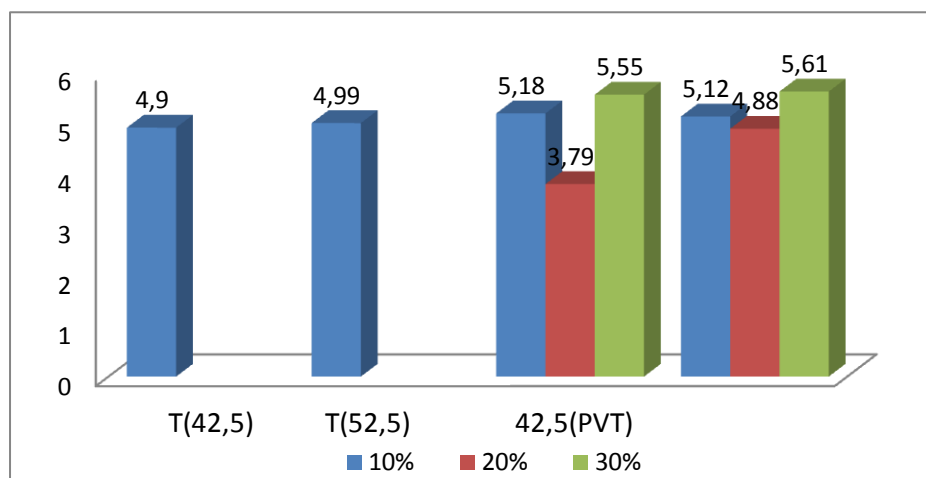


Figure V. 22.L'évolution de la résistance à la flexion avec l'âge du béton pour le ciment 52.5

➤ Pour la traction par fendage



Commentaire : On observe une augmentation de la résistance à la flexion (2MPa) et à la traction par fendage (presque 2MPa) avec les deux types de ciment.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

B-Béton en poudre de verre opaque

Tableau V. 29.La résistance à la flexion et à la traction par fendage

Type du béton			La résistance à la traction par fendage (MPa)	La résistance à la flexion (MPa)	
				7j	28j
Témoin	Ciment (42.5)		4.90	5.12	5.80
	Ciment (52.5)		4.99	6.23	7.11
Poudre de verre opaque	Ciment (42.5)	10%	3.48	6.55	6.65
		20%	4.16	6.72	6.8
		30%	4.80	6.81	6.91
	Ciment (52.5)	10%	3.10	7.14	7.3
		20%	4.87	8.03	8.2
		30%	5.04	7.64	8.83

Les résultats sont illustrés dans les figures V.24, V.25, V.26.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

➤ Pour la flexion :

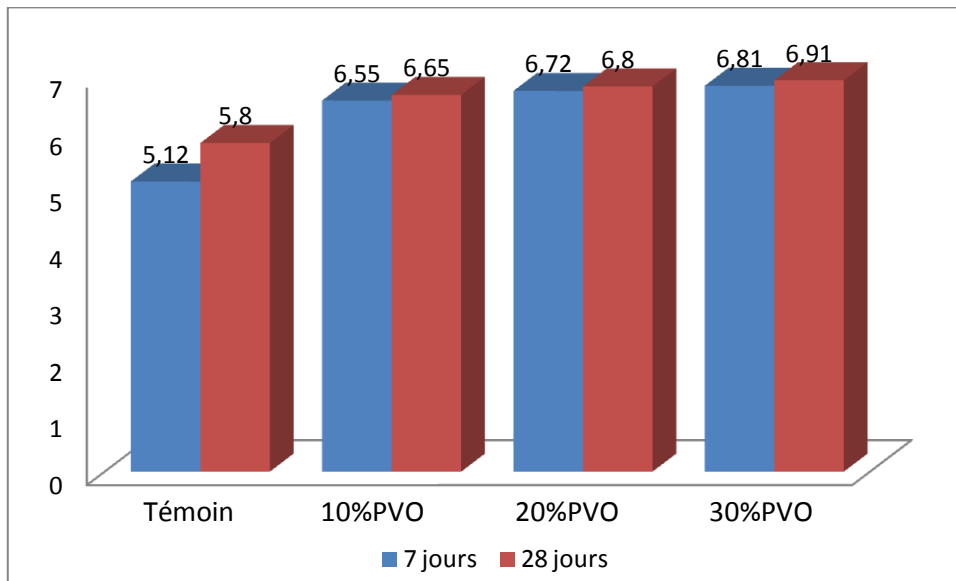


Figure V.24.L'évolution de la résistance à la flexion avec l'age du béton pour le ciment 42.5

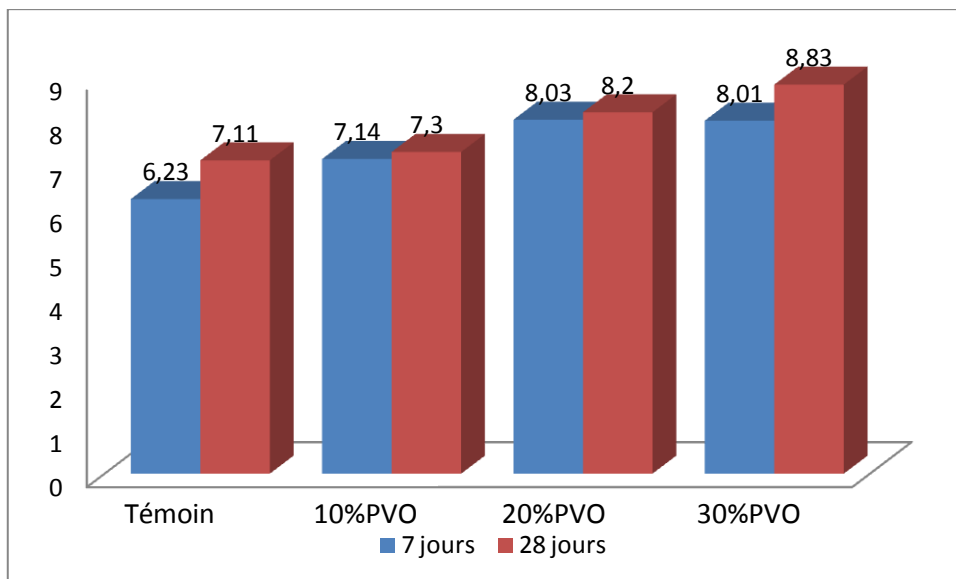


Figure V.25.L'évolution de la résistance à la flexion avec l'âge du béton pour le ciment 52.5

➤ Pour la traction par fendage :

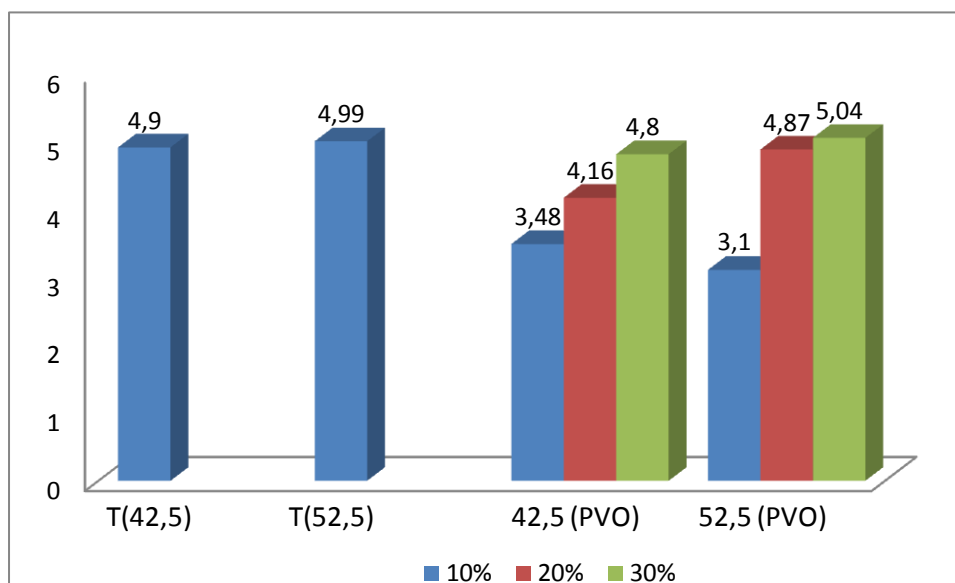


Figure V. 26. Résistance à la traction par fendage en MPa (28j)

Commentaire : On a obtenue une amélioration non significative des résistances par rapport au béton témoin.

Remarque : On observe une différence entre les résultats obtenues des deux poudres, la PV TR donne des améliorations un peu plus que la PV OP par contre la résistance à la compression.

Discussion et interprétation

Les valeurs obtenues représentent la moyenne de trois éprouvettes testées pour chaque béton à chaque échéance. Globalement, on remarque une nette évolution des résistances de tous les mélanges. Les résultats obtenus confirment que plus le béton est compacte grâce à la finesse et le pourcentage d'ajout plus il est résistant. En outre, la haute teneur en silice SiO_2 de la PV (TR, OP) lui confère des propriétés pouzzolaniques qui augmentent avec la teneur en PV, le SiO_2 réagit avec la portlandite libérée par l'hydratation des silicates en présence d'eau, ce qui donne naissance à des nouveaux C-S-H similaires à celui obtenu par le ciment portland, qui font densifier d'avantage la matrice cimentaire et occupent les pores libres cela rend la structure plus compacte et plus résistante.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

IV-6-L'essai d'ultrason : (selon la norme EN 12504-4)

L'essai de l'ultrason est effectué sur des éprouvettes cylindriques (16x32).

Le présent mode opératoire a pour objet la mesure du temps de propagation d'un train d'ondes appelées ondes longitudinales, généré par un transducteur entre deux points déterminés dans le béton.

Mode opératoire :

-Avant de procéder aux mesures, l'appareil doit être calibré sur la barre d'étalonnage. Selon le mode opératoire de l'appareil.

-L'émetteur et le récepteur sont appliqués sur les deux faces opposés de l'élément à mesurer.

-Exercer une pression sur le béton avec les transducteurs jusqu'à stabilisation du signal.

-Résultats

-Le temps de propagation des ondes soniques seront exprimés en micro secondes.

-La vitesse de propagation en mètre par seconde.

A-L'ultrason et module d'élasticité des bétons avec PV TR

Tableau V. 30.L'ultrason et module d'élasticité

Type du béton		La vitesse (m/s)	Le temps (μ s)	Module	
Témoin	Ciment (42.5)	4200	66	39.562	
	Ciment (52.5)	4700	63.6	50.393	
Poudre de verre transparent	Ciment (42.5)	10%	3470	92.2	26.961
		20	3630	88.2	29.648
		30%	4230	66.2	40.259
	Ciment (52.5)	10%	4690	68.2	49.550
		20%	4770	67.1	51.398
		30%	4800	59	52.487

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

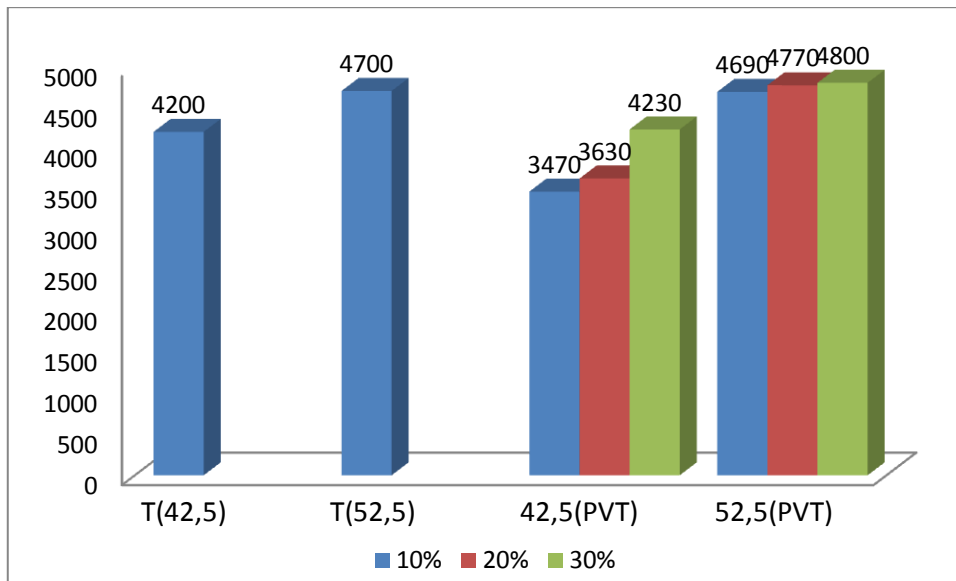


Figure V. 27. Ultrason des bétons à base de PV TR

Commentaire : les résultats du béton témoin sont acceptables car celui-ci est classe « Bonne qualité : 3660-4575m/s » et avec la poudre de verre la vitesse est devenue supérieure à 4575m/s, classe le béton dans « Excellente qualité ».

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

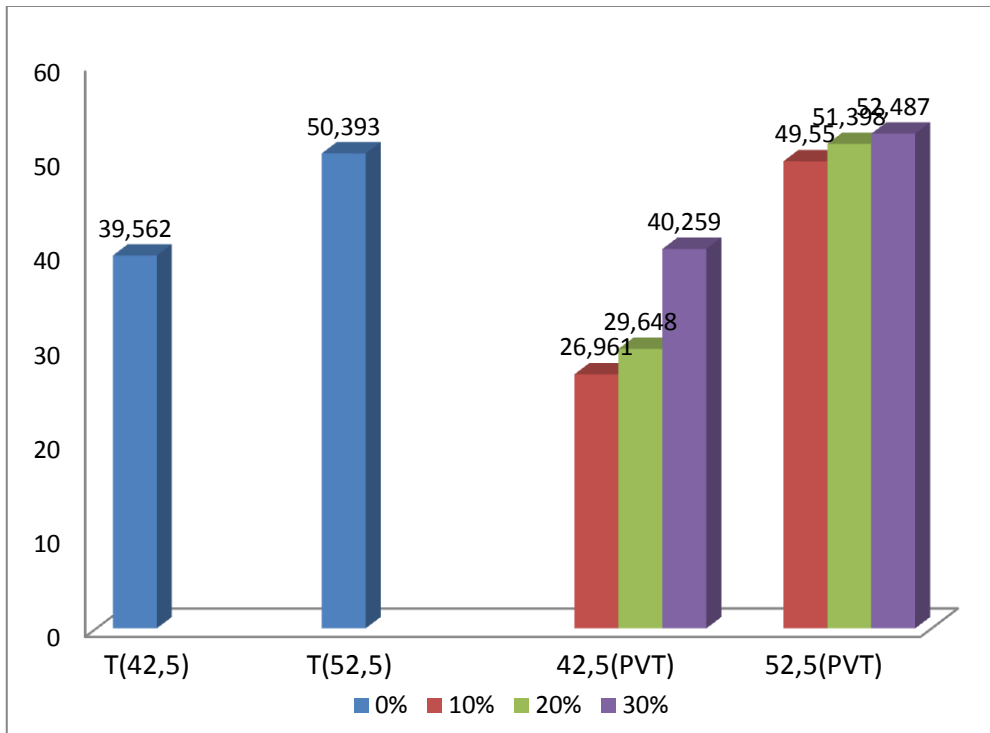


Figure V.28. Module d'élasticité dynamique des bétons à base de PV TR

Commentaire : On remarque une proportionnalité directe entre l'ultrason (la vitesse de propagation du son) et le module d'élasticité.

-Le module d'élasticité varie selon les formulations entre 26 et 52GPa.

- Les bons résultats se trouvent dans les bétons avec 30% de PV TR 42.5 et 52.5.

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

B-L'ultrason et module d'élasticité PV OP

Tableau V. 31.L'ultrason et module d'élasticité

Type du béton		La vitesse (m/s)	Le temps (μ s)	Module d'élasticité (GPa)	
Témoin	Ciment (42.5)	4200	66	39.562	
	Ciment (52.5)	4700	63.6	50.393	
Poudre de verre OPAQUE	Ciment (42.5)	10%	4690	68.2	49.523
		20%	4780	67	50.750
		30%	4910	57	52.056
	Ciment (52.5)	10%	3590	66	51.376
		20%	4850	89.2	53.243
		30%	5000	57.1	56.677

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

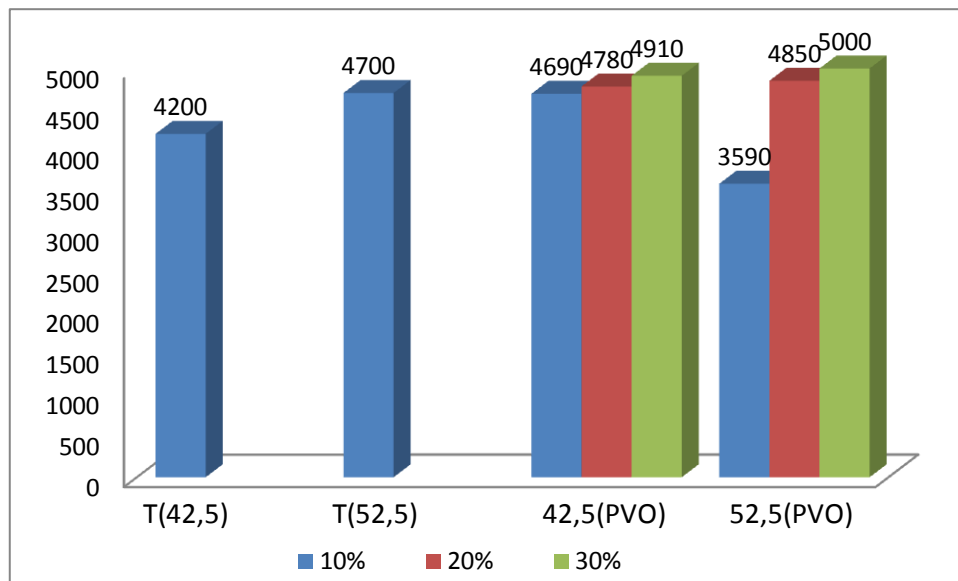


Figure V.29. L'ultrason des différents types des bétons (28j)

Commentaire : les résultats du béton témoin sont acceptables car elles classent le béton testé dans la classe « Bonne qualité : 3660-4575 » et avec la poudre de verre la vitesse atteint 4575m/s qui classent le béton dans « Excellente qualité ».

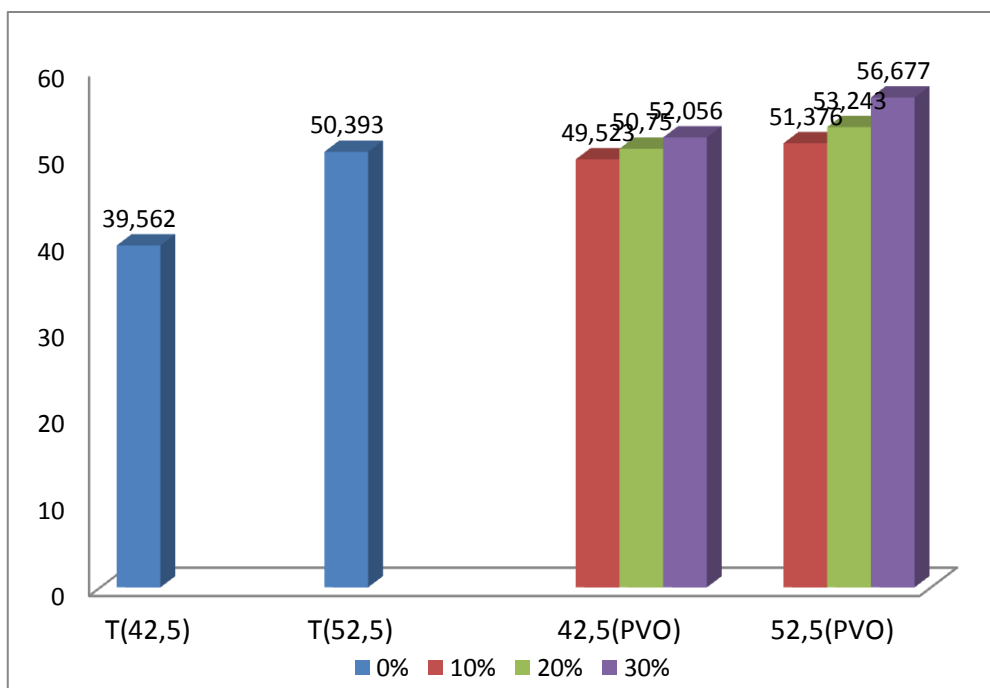


Figure V.30. Le module d'élasticité en fonction des différents pourcentages de PV OP

CHAPITRE V : PARTIE PRATIQUE

Commentaire

-Le module d'élasticité varie selon les formulations entre 26 et 52GPa.

- Les bons résultats se trouvent dans les bétons avec 30% de PV OP 42.5 et 52.5.

Remarque : On remarque que le module d'élasticité des bétons à base de la PV OP est supérieur à celle de la PV TR.

Discussion et interprétation:

Comme pour les précédentes propriétés mécaniques, À 28 jours, on remarque une nette évolution de ces valeurs témoignant de l'amélioration des propriétés mécaniques avec la teneur en PV. Cette évolution due de la compacité des bétons.

IV-7-Aspect macroscopique



Figure V.31. Mode de fissuration

Ces photos nous renseignent clairement sur :

- La répartition homogène de tous les constituants du béton (surtout les granulats) c'est-à-dire absence de ségrégation, ce qui va influencer positivement les résistances mécaniques.
- L'adhérence parfaite entre la pâte et les granulats.
- Absence totale des bulles d'air, donc ce sont des bétons compacts avec une meilleure résistance aux agressions chimiques.

Conclusion

générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'objectif de notre travail concerne l'utilisation de la poudre de verre finement broyé comme ajout cimentaire dans le but de formuler un béton ordinaire destiné au béton précontraint. L'étude s'est articulée autour des trois principaux points suivants:

Caractérisation des matières premières utilisées étude de l'influence de la poudre de verre sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons élaborés.

Caractérisation des bétons avec poudre de verre par des essais physico-mécaniques.

Comparaison entre les effets de poudre de verre opaque et transparent.

Les résultats obtenus au cours de ce travail, mènent aux conclusions suivantes :

1- En fixant le rapport E/C à 0,38, la méthode, de Dreux-Gorisse conjuguée à celle de coulis nous ont conduits à des compositions de béton satisfaisantes, suite à l'optimisation des facteurs suivants :

a- la teneur en adjuvant par rapport à la masse du ciment est 1% pour le BPV et 1% pour le BR.

b- diamètre maximal des gros granulats à 31.5cm.

c- mouture de la poudre de verre : $SSB = 4818 \text{ cm}^2/\text{g}$ pour le verre transparent, $SSB = 4827 \text{ cm}^2/\text{g}$ pour le verre opaque.

d- teneur en poudre de verre : 10% ,20% ,30% du poids de ciment.

2. L'utilisation de la poudre de verre finement broyée et d'un superplastifiant arrivé à un faible écoulement du béton par rapport au béton de référence.

CONCLUSION GENERALE

3. L'effet de l'introduction de la poudre de verre, conjuguée à celui du superplastifiant, limite l'air emprisonné dans des pores suite au remplissage de ces derniers par la poudre de verre.

4. La masse volumique des bétons avec poudre de verre, est sensiblement élevée par rapport à celle du béton de référence, suite à la densification de la matrice, obtenue par l'ajout de particules très fines.

5. Les résistances mécaniques des bétons avec poudre de verre augmentent d'une façon graduelle par rapport à celle du béton de référence. Au niveau de la résistance à la traction par fendage à 28 jours et la résistance à la flexion, le béton avec poudre de verre développe des résistances un peu améliorées à celles du béton de référence.

Par contre, les résistances à la compression du béton de poudre de verre ayant obtenues une amélioration significative par rapport à celles du béton de référence. De façon générale, un double rôle de la poudre de verre est reconnu : pouzzolanique et granulaire.

La valorisation de verre dans la fabrication des bétons engendre deux principaux comportements que peut avoir ce verre lorsqu'il est mis en contact avec une matrice cimentaire à savoir :

-un comportement néfaste associé à la réaction alcali-silice, si le verre est utilisé sous la forme de grosses particules ;

-un comportement bénéfique associé à la réaction pouzzolanique, si le verre est utilisé sous la forme de fines particules.

Par ailleurs, il ne faut pas négliger la teneur importante en alcalins que contient ce type de verre (de l'ordre de 13% en masse), puisque ces alcalins sont susceptibles d'activer la réaction alcali-silice (RAS).

CONCLUSION GENERALE

Il faut se rappeler que le verre utilisé dans notre étude est essentiellement issu des rebuts de verre plat, un verre sodo-calcique avec un taux d'alcalin qui dépasse 13% en masse ;

il ne contient ni de chrome ni de lithium, éléments principaux qui peuvent réduire le développement des réactions alcali-silice dans le béton. Ce qui n'est pas le cas de « verre bouteilles » dont des études ont montré que grâce à sa teneur en oxyde de chrome et en oxyde de lithium a réussi d'éviter le développement des RAS [28].

Enfin, la valorisation de verre dans le béton se présente comme une issue importante dans la préservation de l'environnement. Néanmoins, il faut concilier les deux effets qu'a cette valorisation sur le comportement des bétons (l'activité pouzzolanique et la réaction alcali-silice).

Perspectives

Ce travail a permis d'effectuer une étude globale sur l'utilisation de la poudre de verre dans le béton, mais il a également soulevé certains points qu'il serait intéressant d'exploiter :

-Il semble primordiale que le verre soit finement broyé avant son utilisation pour éviter toute manifestation des RAS.

- Le travail présenté dans ce manuscrit est expérimental. Il semble que la modélisation devrait permettre de conforter ou d'infirmer certaines hypothèses, notamment pour les mécanismes d'action du verre.

Références

bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] NEBBOU Mohamed ,MADANI Amar « influence de la poudre de marbre sur les propriétés du béton »
- [2] CHAID.R : les cours théoriques sur le béton, université de Boumerdès, 2008.
- [3] Norme européenne NF EN 197-1 : « Ciment-Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris février 2001.
- [4] MAUD CODINA : « Les bétons bas pH Formulation, caractérisation et étude à long terme », thèse de doctorat INSA. France 2007.
- [5] Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese Normand, F. MacLeod et Richard J. McGrath « Dosage et contrôle des mélanges de béton » 7^{ème} édition canadienne 2004.
- [6] document de granitex « étude de la faisabilité de BAP avec adjuvant »
- [7] documents Internet « propriétés du BAP » .
- [8] thèse AYAD
- [9] PHILIPPE TURCRY « retrait et fissuration des bétons autoplaçant influence de la formulation » de NANTES/ 03 Février 2004.
- [10] document Internet CHAPITRE I « état des connaissances – propriétés d'un programme de recherche »
- [11] Technique l'ingénieur C2210
- [12] ABDELAZIZ Yazid « béton précontraint cours et exercices » 2006
- [13] NEBBOU Mohamed ,MADANI Amar « influence de la poudre de marbre sur les propriétés du béton »
- [14] DUVAL Clément « Le verre que sais je » Edition paris 1974.
- [15] JEANS L.barton : composition verrières, l'évolution des verres industriels, revue verre vol 7. N°2 Institue de verre 2001.
- [16] Source internet.
- [17] K.WINNACKER : technologie minérale(troisième partie). Edition Eyrolle 1965.
- [18] Mémoire de magistère : « Elaboration et caractérisation des verres au plomb»
-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [19] PIERRE Done «l'utilisation du verre dans les ensembles mécanique» .Edition dunod paris 1971.
- [20] AYADI Azzedine « technologie de verre édition OPU 2004».
- [21] CHEKIREB Sihem « valorisation de la poudre de verre dans le béton autoplaçant »
- [22] ADAM M. Neville, « propriétés de béton » Eyrolles Paris, 2000.
- [23] Jean- Marie Reynouard, Gilles Pijaudier-Cabot « comportement mécanique du béton, Paris, 2005.
- [24] Georges DREUX, Jean FESTA « Nouveau guide du béton et de ses constituants
8^{ème} édition Eyrolles Paris 1998.
- [25] CHERAIT Yacine et NAFA Zahredinne « Eléments de matériaux de construction
etessais » Université de GUELMA, 2007.
- [26] Rapport d'essai N°0428/16 « CETIM » Boumerdes 09/03/2016
- [27] EN 196-1(04/2006)
- [28] ZEROUB Hamid « Valorisation du verre dans l'élaboration de béton durable 'approche
expérimentale' »
-

ANNEXE

Annexe

I. LES ESSAIS DE CARACTERISATION DES GRANULATS

I.1. masse volumiques

I.1.1. définition

La masse volumique d'un matériau est la masse de ce matériau par unité de volume. Son symbole est désigné par M_v , comme le volume absolu est le volume apparent.

I.1.2. Détermination de la masse volumique absolue

I.1.2.1. Définition

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Les masses volumiques s'expriment en t/m^3 , en kg/dm^3 ou en g/cm^3 . La masse volumique absolue moyenne des granulats est prise égale, en première approximation, à $2.65 g/cm^3$.

I.1.2.2. But de l'essai

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

I.1.2.3. Méthode de l'éprouvette graduée

C'est la plus simple :

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume « V_1 » d'eau (figure : 01).
- Peser une masse « M » du corps (de l'ordre de 300g), et l'introduire dans l'éprouvette. Bien éliminer les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume « V_2 ».
- Le volume absolu est $V = V_2 - V_1$ et la masse volumique absolue :

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

ANNEXE

Pour opérer de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée en verre de 500cm³ de volume. La lecture des niveaux V1 et V2 doit faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sur la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque.

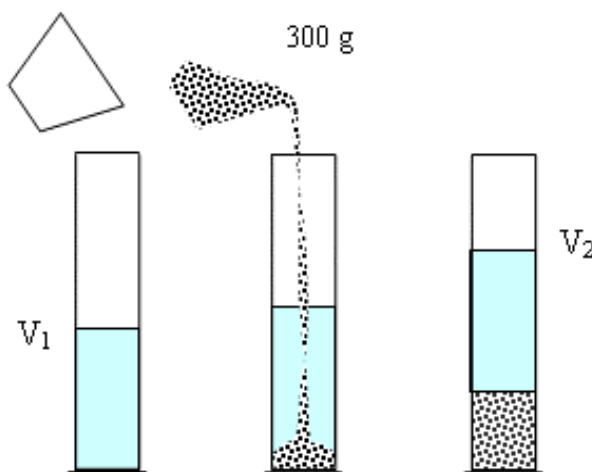


Figure 01 : méthode de l'éprouvette graduée

I.1.3.Détermination de la masse volumique apparente

I.1.3.1.définition

Elle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière y compris les vides contenus.

I.1.3.2.Principe de la méthode

- A l'aide d'un récipient, de masse et de volume bien déterminé, on prend le matériau, en remplissant le récipient à travers de deux mains, qui sont tendus formant un entonnoir à 10cm environ au-dessus de niveau de récipient. On laisse tomber ce matériau, ni trop vite, ni trop lentement.
- Verser ainsi le corps, ce matériau doit s'effectuer au centre de ce récipient, jusqu'il déborde tout autour en formant un cône.
- Araser à l'aide d'une règle l'exé par rapport au niveau de récipient.
- Peser le contenu

Donc, la masse de matériau et le volume de récipient : $MV_{app} = \frac{M_{matériau}}{V_{récipient}}$

I.3.Équivalent de sable

I.3.1.principe

L'essai est fait sur un « sable », on utilise que la fonction des granulats qui traverse le tamis de 5mm. Laver l'échantillon, dans des conditions normalisées, et laisser repasser. Après le temps prescrit, mesurer figure 02 :

- La hauteur h_1 sable propre + éléments fins.
- La hauteur h_2 sable propre seulement. Par définition, l'équivalent de sable est :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100$$

Selon que la hauteur h_2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) et ES (équivalent de sable au piston).

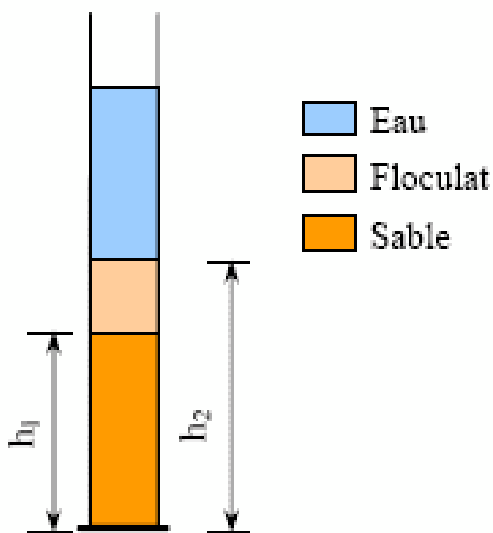


Figure02 :l'essai de l'équivalent sable

ANNEXE

I.3.2. Produits utilisés pour le lavage du sable lors de l'essai

Composition (pour 1L solution) :

- 111 ± 1g de chlorure de calcium.
- 480 ± 5g de glycérine.
- 12 à 13g de solution aqueuse de formaldéhyde.

I.3.3. Solution lavant

Verser 125 cm³ de solution dans un récipient, et compléter à 5L avec de l'eau. Avec de l'eau totale, cette solution ne peut être conservée plus de 2 à 4 semaines.



Figure 03 : solution lavant

1.3.4. Mode opératoire

Le matériel et le sable tamisé sont supposés préparés :

- Solution lavant dans une bonbonne de 5l à 1m au-dessus du font éprouvettes.
- Dispositif si phonique amorcé, et relié au tube laveur.
- Deux éprouvettes propres (on prendra la moyenne de deux résultats).

1-Emplir les éprouvettes jusqu'au 1 trait.

2-Verser la quantité de sable voulue.

ANNEXE

3-Eliminer les bulles d'air (frapper contre la paume de la main). Laisser reposer 10 mn.

4-Boucher les éprouvette, et les agiter : mouvement rectiligne, horizontal, sinusoïdal, 20cm d'amplitude, 90 allers et retour en 30s. Cette agitation est confiée à une machine, qui peut être électrique (elle s'arrête d'elle-même après 90 cycles) ou manuelle (moins chère, moins lourde, ne nécessitant pas de courant électrique ; un chronomètre permet d'obtenir un mouvement régulier).

5-Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube laveur.

- Rincer le bouchon, au-dessus de l'éprouvette.
- Faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts : on lave ainsi les parois intérieures de l'éprouvette.
- Laver le sable, pour cela, descendre et remonter lentement le tube laveur, que l'on tourne entre les doigts, dans la masse du sable ; on fait ainsi remonter les particules fines.
- Sortir le tube laveur (et fermer le robinet) lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur.

6-Laissé reposer 20mn. Eviter toute vibration. Tolérance faible : $\pm 10s$; car la hauteur du floculat dépend de la durée du repos.

7-Mesurer a vue h1 et h2

La mesure de h2 n'est pas toujours aisée. ESV, qui en résulte, est donc entaché d'incertitude. Ce qui conduit à faire la mesure plus précise suivante :

8- descendre lentement le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieur de l'éprouvette. L'immobiliser au contact du sable Mesurer h2

9-noter la température.

- Bien entendu, ces opérations sont identiques pour les deux éprouvettes.

Précision des mesures.

- h1 et h2 le millimètre le plus proche h2
- température : le degré le plus proche.

I.4.Essai de los Angeles

I.4.1.Principe

L'essai consiste à mesurer la quantité d'élément inférieur à 1.6mm produite en soumettant le matériau au choc de boulets normalisés dans la machines los Angeles. La granularité de matériau soumis à l'essai est choisie parmi les six classes granulaires 4-6.3mm, 6.3-10mm, 10-25mm, 16-31mm, 25-50mm, la granularité du matériau tel qu'il sera mise en œuvre.

La classe 10-25mm contient 60% de 10-16mm, la classe 16-31mm contient 60% de 16-25mm, et la classe 25-50mm contient 60% de 25-40mm.

Si M est la masse de matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieur à 1.6mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par choc s'exprime par 100 Mm

Cette quantité est appelée le coefficient los Angeles de matériau (LA).

I.4.2.Préparation de l'échantillon

- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie, en commençant par le tamis le plus grand.
- Laver le matériau tamisé et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à une masse constante.
- La masse de l'échantillon pour l'essai sera de 5000g ± 5g.

I.4.3.Mode opératoire

- Introduire avec précaution la charge de boulet correspondant à la classe granulaire choisie puis l'échantillon pour l'essai.
- Faire effectuer à la machine 500 rotations à une vitesse régulière 30 à 33 tr/min.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6mm.
- Laver le refus au tamis de 1.6mm, égoutter et sécher à 105C jusqu'à une masse constante.
- Peser ce refus une fois sécher, soit ml le résultat de la peser.

I.4.4.Expression des résultats

Le coefficient Los Angeles (LA) est par définition le rapport : $\frac{m}{500} \times 100$

Ou : $m=5000-m_1$

m est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm en gramme.



Figure 04 :essai de los angeles

ANNEXE

I.5.Essai Micro Deval

I.5.1.Principe

L'essai consiste à introduire un échantillon en présence d'une charge abrasive dans des cylindres en rotation pour mesurer à la fin l'usure des granulats.

I.5.2.Préparation de l'échantillon

L'essai doit être effectué sur un lot de granulats ayant une granularité conforme à l'une des trois classes granulaires types.

Pour effectuer un essai sec ou un essai en présence de l'eau :

- Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention d'une masse constante.
- Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.
- La masse de l'échantillon pour essai sera de 500g ± 2g.

Mode opératoire

- Introduire dans le cylindre d'essai, disposé ouverture vers le haut, la charge abrasive puis les 500 g de matériau préparé. La charge est fixée conformément aux indications du tableau ci-après :

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)
4 – 6.3	2000±5g
6.3 -10	4000±5g
10 -14	5000±5g

Pour effectuer un essai en présence d'eau on ajoutera 2.5litre.

- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) tr/min pendant 2 heures ou 12000 tr.
- Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulat. Laver soigneusement l'intérieur de cylindre.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1.6mm.

- Laver l'ensemble sous un jet d'eau et retirer la charge abrasive.
- Sécher le refus à 1.6mm à 105°C jusqu'à masse constante.

ANNEXE

- Peser ce refus au gramme près ; soit m_0 le résultat de la pesée.

I.5.4.Expression des résultats

Le coefficient Micro Deval est par définition le rapport : $\frac{m}{500} \times 100$

Où:

$m = 500 - m_0$: est la masse sèche de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6mm.

On a donc : le coefficient Micro Deval (MDE) = $\frac{500 - m_0}{500} \times 100$



Figure05 : essai micro deval

II. Essais de caractérisations du ciment

Il existe des essais de caractérisation qui se font sur le ciment, sur pâte (ciment + eau) et sur mortier normalisé (ciment + sable CEN + eau).

II.1.Sur ciment

II.1.1.MASSE VOLUMIQUE

ANNEXE

II.1.1.1. Conduite de l'essai :

Remplir l'appareil de tétrachlorure de carbone jusqu'à ce que le niveau parvienne entre les divisions zéro et 1. Éviter de mouiller les parois lors du remplissage. Immerger le volumétre dans un récipient contenant de l'eau à 20 ± 1 °C. Pendant l'équilibrage de température, peser une masse de ciment de 64 g à 0,1 g près.

- Repérer exactement le niveau atteint N_0 .
- Verser le ciment très lentement (en $\frac{1}{4}$ d'heure environ) dans l'appareil en prenant garde à ne pas laisser de dépôt sur les parois.
- Déplacer le volumétre contenant le ciment, de récipient et le poser sur la table.
- Boucher le volumétre, l'incliner à 45° par rapport à la table et le faire rouler avec un mouvement de va-et-vient de manière à faciliter le départ de l'air.
- Replacer l'appareil dans le bain et lire le niveau N_1 du liquide après équilibrage de température.

La masse volumique absolue est donnée par le rapport:

$$\rho_c = \frac{64}{N_1 - N_0} \cdot g / cm^3$$

II.1.2. Mesure de la surface spécifique Blaine « EN 196-6 / NF P 15-476 » :

II.1.2.1. Mode opératoire :

Le principe de fonctionnement de cette appareil est comme suit :

- On prend notre échantillon et on le met dans la cellule de l'appareil «après avoir placé la grille et un papier à filtre ».
- On met un autre papier sur le liant et on tasse avec le piston.
- On place la cellule dans l'ajutage et on ouvre le robinet et grâce à la poire aspirante, on aspire l'air qui se trouve dans le tube et ainsi le liquide va se déplacer petite à petite au niveau des repères jusqu'à ce qu'il atteigne le niveau supérieur.
- On ferme le robinet et on calcule le temps que met le liquide pour atteindre son niveau initial.
- On calcule la surface spécifique de Blaine par la formule ci-dessous :

$$S = K \cdot \sqrt{t} \cdot \frac{1}{\rho_c} \cdot \frac{\sqrt{P^3}}{1 - P} \cdot \frac{1}{\sqrt{0,1 \cdot \eta}}$$

K : constante de l'appareil

η : Viscosité de l'air à T° de l'essai

ANNEXE

ρ_c : masse volumique du ciment

m : masse de ciment

V : volume de la cellule

$$p = 1 - \frac{m_c}{V \cdot \rho_c} = 0,500$$

1.1.1. Appareillage :

La surface Blaine des ciments varie de 3100 à 6000 cm²/g.

Finesse - Méthode Blaine (EN 196-6 / NF P 15-476).

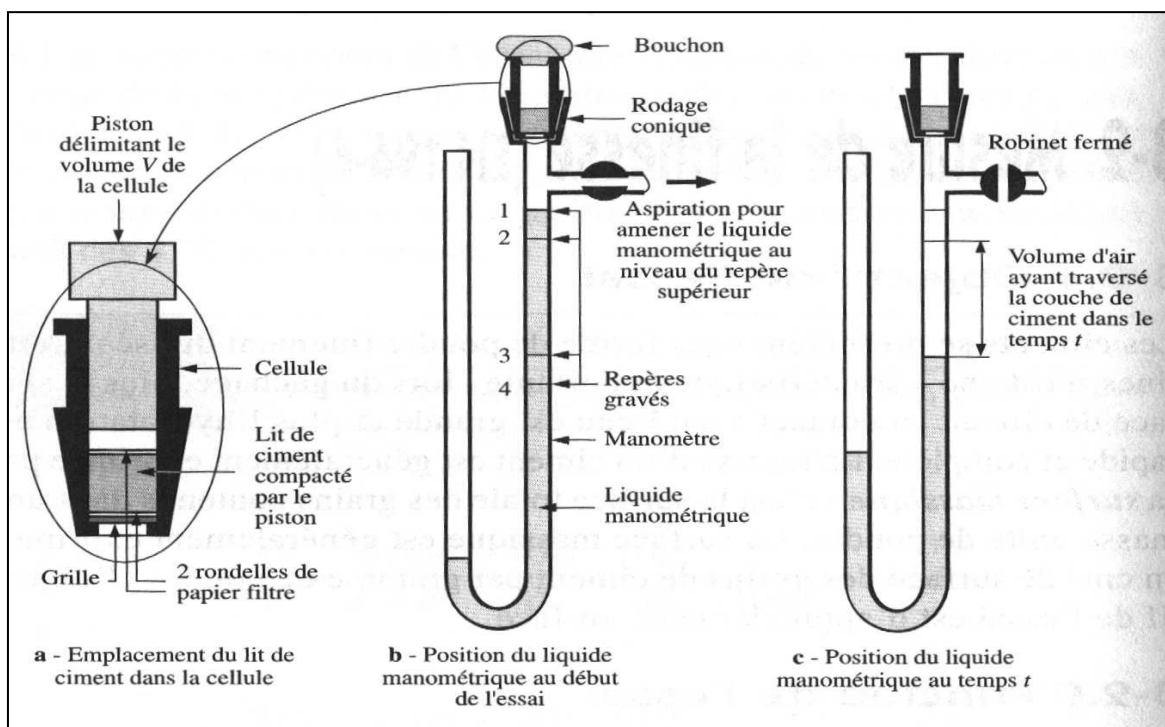


Figure06 : La surface spécifique de Blaine

II.2.Sur la pate

II.2.1 Consistance de la pâte normale du ciment « EN 196-3+1 (01/2009) » :

2.1.1 Définition de la pâte normale :

La pâte normale est une pâte pure de consistance normale, c'est à dire, telle qu'en opérant avec l'appareil de Vicat (voir fig.07), la lecture donnant l'épaisseur de la pâte restant entre l'extrémité inférieure de la sonde et le fond au moule quand celle ci a cessé de s'enfoncer sous son propre poids, est de $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$.

2.1.2 Préparation de la pâte normale :

Il est effectué au moyen du malaxeur spécifié dans la norme « EN 196-3+1 ». Deux vitesses de rotation du batteur doivent pouvoir être réalisées:

- Une vitesse lente d'environ 140 trs / mn.
- Une vitesse rapide, double de la précédente, d'environ 280 trs / mn.

Le malaxeur étant en position de fonctionnement:

- a) Verser dans le récipient la quantité d'eau préalablement déterminée par tâtonnements successifs de manière à réaliser la consistance normale ; lui ajouter le liant 810g pour remplir les moules cylindriques (12 moules à remplir pour chaque malaxage).
- b) Mettre le malaxeur à la vitesse lente pendant une minute, puis à la vitesse rapide pendant 2 minutes.
- c) Arrêter le mouvement, avec le batteur démonté de son axe, racler les parois et fond du récipient de façon qu'aucune fraction de pâte n'échappe au malaxage.
- d) Après remontage du batteur, reprendre le malaxage pendant 2 minutes à vitesse rapide.

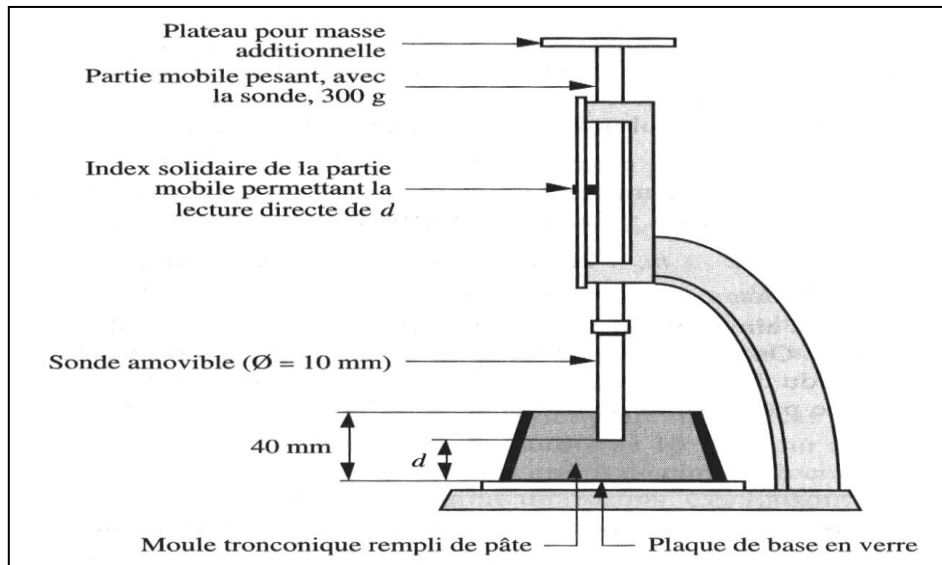


Figure 07 : appareil de Vicat muni d'une sonde.

1.2. Détermination du temps de prise «NF P 15-431 » :

1.2.1. Mode Opérateur :

- a) Régler préalablement l'appareil Vicat muni de l'aiguille.
- b) Remplir le moule Vicat de pâte de consistance normale et arasée.
- c) Conserver le moule rempli et arasé ainsi que sa plaque de base dans l'armoire et au bout d'un temps convenable les placer dans l'axe de l'aiguille de Vicat.
- d) Abaisser l'aiguille avec précaution jusqu'à ce qu'elle arrive au contact de la pâte.
- e) Observer une pause de 02 secondes à cette position de manière à éviter une vitesse initiale ou une accélération forcée des parties mobiles.
- f) Lâcher alors rapidement les parties mobiles, l'aiguille doit pénétrer verticalement dans la pâte.
- g) Effectuer la lecture de l'échelle à la fin de la pénétration ou 30 secondes après la libération de l'aiguille.
- h) La lecture qui indique la distance entre l'extrémité de l'aiguille et la plaque de pause doit être enregistrée conjointement avec le temps écoulé depuis l'instant zéro.
- i) Respecter l'essai de pénétration sur la même éprouvette à des positions convenablement espacées à plus de 10 mm du bord du moule, à des intervalles de temps espacés (exemple : 10 mn).
- j) Conserver l'éprouvette entre les essais de pénétration dans l'armoire humide.
- k) Nettoyer l'aiguille aussitôt après chaque pénétration.

ANNEXE

Micro deval.....	NF EN 1097-1
Los angeles.....	NF EN 1097-2
Appareil de vicat.....	NF EN 196-3 +1
Analyse granulométrique.....	NF P 18 -560
Equivalent de sable.....	NF P18-560
Masse volumique.....	NF P18-560
Consistance normale.....	EN 196-3+1
Temps de prise.....	NF P 15-431
Masse spécifique.....	NF EN 196-5
La SSB.....	NF EN 196-6