

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar – El-oued

Faculté de technologie
Département Hydraulique et Génie Civil



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER EN GENIE CIVIL

Option: Matériaux

Présentés par :

Labidi Abdelaziz
Soualah Bedadi Younes
Guediri Azzeddine
Mamanou Abdelali

Thème

**Etude expérimentale sur le béton auto-plaçant
avec des ajouts (déchet de construction)**

Devant le jury composé de:

Rapporteur	U. El oued	Maître de conference (B)	Bedadi Laid
Président	U. El oued	Maître de conference (A)	Djedid Tarek
Examineur	U. El oued	Maître de conference (A)	Labiodh Bachir

Promotion juin 2024

Remerciements

Nous rendons d'abord grâce à Dieu pour le succès de l'achèvement de ce mémoire. Ensuite, je voudrais adresser mes remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin, et je mentionne particulièrement le laboratoire « Niozilab », qui a mis à notre service toutes les possibilités, ainsi que le laboratoire de l'université et ses dirigeants, dans lesquels nous avons réalisé la majorité des essais. Nous tenons à remercier spécialement notre professeur et notre encadrant, le Docteur **Bedadi Laid**, pour son accompagnement, ses conseils et le temps considérable qu'il a consacré à la réalisation de ce travail. merci à tous nos professeurs qui nous ont apporté un complément scientifique tout au long de notre parcours universitaire. Nous remercions le président du jury Dr **Djedid Tarek** et le membre du jury Dr **Labiodh Bachir** pour avoir accepté de discuter de notre mémoire.

Sommaire

Résumé	
Introduction générale	1
Chapitre I: Etude bibliographique sur le béton auto-plaçant	
I.1. Introduction	4
I.2. Histoire du béton auto-plaçant	5
I.3. Définition de béton auto-plaçant	6
I.4. Domaine d'utilisation des BAP	6
I.5. Avantages et inconvénients des BAP	6
I.5.1. Avantages techniques	6
I.5.2. Avantages économiques	7
I.5.3. Avantages écologiques	7
I.5.4. Inconvénients de BAP	7
I.6. Structure des BAP	7
I.6.1. Grande proportion en fines	7
I.6.2. Volume de pâte important (ciment+additions+eau efficace+air)	7
I.6.3. Faible volume en gravillons	7
I.6.4. Ajouts de super plastifiant	8
I.6.5. L'utilisation d'agent de viscosité dans des cas particulier	8
I.7. Principaux constituants des BAP	8
I.7.1. Matériaux de base	8
I.7.1.1. Le ciment	8
I.7.1.1.1. Définition	9
I.7.1.1.2. Constituant des ciments	9
I.7.1.2. L'eau de gâchage	9
I.7.1.3. Granulats	9
I.7.2. Les ajouts (les fines)	10
I.7.3. les adjuvants	10
I.8. Propriétés des BAP à l'état frais	11
I.8.1. Le remplissage	11
I.8.2. La résistance à la ségrégation	11
I.8.3. La capacité de passage	12

I.9. Caractérisation d'un béton auto-plaçant à l'état frais	13
I.9.1. La mesure d'étalement au cône d'Abrams (NF EN 12350-8)	13
I.9.2. Essai à la boîte en L (NF EN 12350-10)	15
I.9.3. L'essai de stabilité au tamis (NF EN 12350-11)	16
I.9.4. Essai d'écoulement à l'anneau (J-Ring) (NF EN 12350-12)	17
I.9.5. L'essai de l'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel) (NF EN 12350-09).....	19
I.9.6. Essai de boîte en forme de U	20
I.10. Caractérisation d'un BAP à l'état durci (destructif et non destructif)	20
I.10.1. Les essais destructifs du béton	21
I.10.1.1. Essai de compression (NF EN 12390-4)	21
I.10.1.2. La résistance en traction.....	22
I.10.1.2.1. La résistance en traction par flexion (NF P18-407)	22
I.10.1.2.2. La résistance en traction par fendage (NF P12390-6)	23
I.10.1.2.3. La résistance en traction directe	23
I.10.2. Essais non destructifs du béton	24
I.10.2.1. Essai de la variation dimensionnelle du béton (Norme NF P 18-427)	24
I.10.2.2. Essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique)(NF EN 12504-4) ...	25
I.10.2.3. Essais au scléromètre (NF EN 12504-2)	27
I.10.2.4 Absorption d'eau par capillarité des éléments de maçonnerie (NF EN 772-11)	30
I.10.2.5. Perméabilité à l'eau des béton (EN 12390-8)	31
I.11. Méthodes de formulations	33
I.11.1. Méthode japonaise par(Okamura)	33
I.11.2. Méthode suédoise CBI (Cément Och Betong Institute): par (Petersson et al 1996)	34
I.11.3. Méthode dite Française LCPC (Laboratoire Central de Ponts et Chaussées) .	34
I.11.4. Méthode de l'AFGC (Association Française de Génie Civil).....	34
I.11.5. Conclusion.....	35
I.12. Fabrication des BAP	35
I.13. Le transport et la livraison	36
I.14. Mise en place des BAP	36

Chapitre II: Caractérisation des matériaux

II.1. Introduction	39
II.2. Matériaux utilisés	39
II.2.1. Ciment	39
II.2.2. Granulats	40
II.2.2.1. Essais sur granulats	40
II.2.2.1.1. Echantillonnage (NF P 18-553)	40
II.2.2.1.2. Analyse granulométrique (EN 933-1 et EN 933-2)	40
II.2.2.1.3. Module de finesse du sable.....	44
II.2.2.1.4. Equivalent de sable (NF P18-598)	45
II.2.3. L'eau de gâchage	45
II.2.4. Adjuvant (Superplastifiants)	46
II.2.5. Ajout mineral	46
II.2.5.1. Les déchets de brique	46
II.2.5.2. Les déchets de marbre	48
II.2.5.3. Les déchets de verre	49
II.2.5.4. Les déchets de béton	50
II.2.5.5. Le sable de dunes.....	51
II. 3. Conclusion.....	53

Chapitre III: Elaboration des bétons

III.1. Formulation du béton ordinaire	56
III.2. Formulation des bétons auto-plaçant	60
III.2.1. Formulation du béton auto-plaçant (BAP1) avec la poudre de brique	61
III.2.2. Formulation du béton auto-plaçant (BAP2) avec la poudre de marbre ...	62
III.2.3. Formulation du béton auto-plaçant (BAP3) avec la poudre de verre	63
III.2.4. Formulation du béton auto-plaçant (BAP4) avec la poudre de béton	64
III.2.5. Formulation du béton auto-plaçant (BAP5) avec sable de dune	65
III. 3. Conclusion.....	66

Chapitre IV: Essais sur bétons: résultats et interprétations

IV.1. Introduction.....	69
IV.2.Confection des bétons.....	70
IV.2.1. Préparation de la gâchée.....	70

IV.2.2. Conservation des éprouvettes.....	70
IV.3. Essais sur béton frais	71
IV.3.1. Essais d'affaissement au cône d'Abrams (NF EN12350-2)	71
IV.3.2. Essai de la boîte en L	72
IV.3.3. Essai de stabilité au tamis.....	72
IV.3.4. Essai J-Ring.....	74
IV.4 Essais sur béton durci.....	75
IV.4.1 Essai de compression.....	75
IV.4.2 Essai de traction par flexion	77
IV.4.3 Absorption d'eau par capillarité.....	80
IV.4.4 Perméabilité du béton.....	83
IV.4.5 Essai de la variation dimensionnelle du béton.....	86
IV.4.6 Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique).....	88
IV.5 Récapitulatif et discussion.....	91
IV.6. Conclusion et Recommandations	91
IV.6.1 Conclusion	91
IV.6.2 Recommandations	93

Liste des tableaux

Chapitre I: Etude bibliographique sur le béton auto-plaçant

Tableau I.1 : Propriétés d'ouvrabilité des BAP	13
Tableau I.2 : Classes d'étalement au cône d'Abrams	14
Tableau I.3 : Classes d'aptitude à l'écoulement : boîte en	15
Tableau I.4 : Critères de stabilité à la ségrégation des BAP	17
Tableau I.5 : Classements qualitatifs	27

Chapitre II: Caractérisation des matériaux

Tableau II.1 : Quelques caractéristiques de ciment	39
Tableau II.2 : analyse granulométrie de gravier 8/16	41
Tableau II.3 : analyse granulométrie de gravier 3/8	42
Tableau II.4 : analyse granulométrie de sable 0/5	43
Tableau II.5 Les normes soviétiques spécifient le module de finesse des sables	44
Tableau II.6 : valeur de l'équivalent de sable	45
Tableau II.7 : Composition chimique de l'eau de gâchage	45
Tableau II.8 : Quelques caractéristiques de TEMPO-12	46
Tableau II.9 : Composition chimique du déchet de brique broyé	47
Tableau II.10 : Quelques caractéristiques de déchet de brique broyé	48
Tableau II.11 : Composition chimique du déchet de marbre broyé	49
Tableau II.12 : Quelques caractéristiques de déchet de marbre broyé	49
Tableau II.13 : Composition chimique du déchet de verre broyé	50
Tableau II.14 : Quelques caractéristiques de déchet de verre broyé	50
Tableau II.15 : Composition chimique du déchet de béton broyé	51
Tableau II.16 : Quelques caractéristiques de déchet de béton broyé	51
Tableau II.17 : Composition chimique de sable de dune broyé	52
Tableau II.18 : Quelques caractéristiques de sable de dune broyé	52
Tableau II.19 : Masse volumique apparente et absolue des matériaux utilisées	53

Chapitre III: Elaboration des bétons

Tableau III.1 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	56
Tableau III.2 : Composition volumique et pondéral du béton vibré pour 1m ³	60
Tableau III.3 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de brique .	61

Tableau III.4 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de marbre	62
Tableau III.5 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de verre	63
Tableau III.6 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de béton ...	64
Tableau III.7 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de sable de dune	65
Tableau III.8 : Composition des différents bétons pour 1 m3	66

Chapitre IV: Essais sur bétons: résultats et interprétations

Tableau IV.1 : résultats de l'essai de l'affaissement au cône d'Abrams	71
Tableau IV.2 : La norme NF EN 206 [5] classe l'affaissement du béton en cinq groupes	71
Tableau IV.3 : essai de la boîte en L.....	72
Tableau IV.4 :essai de stabilité au tamis	73
Tableau IV.5 :Essai J-Ring.....	74
Tableau IV.6 : Tableau récapitulatif des résultats d'essais à l'état frais des BAP	74
Tableau IV.7 : Valeurs des résistances pour les essais de compression sur les bétons étudiés	76
Tableau IV.8 : Valeurs des résistances pour les essais de traction par flexion sur les bétons étudiés	78
Tableau IV.9 : Valeurs des coefficients d'absorption d'eau par capillarité sur les bétons étudiés	81
Tableau IV.10 : valeurs du coefficient de perméabilité sur les bétons étudiés	84
Tableau IV.11 : les valeurs de la profondeur d'eau à l'intérieur des échantillons étudiés	85
Tableau IV.12 : Les Valeurs du retrait sur les bétons étudiés	87
Tableau IV.13 : Les valeurs des mesures aux ultrasons sur les bétons étudiés	89
Tableau IV.14 :Récapitulatif des résultats des différents bétons	91

Liste des figures

Chapitre I: Etude bibliographique sur le béton auto-plaçant

Figure I.1 : Comparaison entre composition de BAP et d'un BO	8
Figure I.2 : représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures	12
Figure I.3 : Cône d'abrams	14
Figure I.4 : la boîte en L	16
Figure I.5 : L'essai de stabilité au tamis	17
Figure I.6 : Essai écoulement (J-Ring)	18
Figure I.7 : L'essai de l'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel)	19
Figure I.8 : Essai de boîte en forme de U	20
Figure I.9 : la compression sur l'éprouvette	22
Figure I.10 : machine de la presse	22
Figure I.11 : Schématisation du dispositif d'essai de traction par flexion	22
Figure I.12 : Schématisation du dispositif d'essai de traction par fendage	23
Figure I.13 : Schématisation du dispositif d'essai à la traction directe	24
Figure I.14 : Appareillage pour la mesure de la variation dimensionnelle du béton ..	25
Figure I.15 : Mesures en transparence directe.....	26
Figure I.16 : Mesures en surface	26
Figure I.17 : Mesures semi directe	27
Figure I.18 : Grille de mesure sur ouvrage	28
Figure I.19 : Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter.....	29
Figure I.20 : Essais au scléromètre	30
Figure I.21 : Essai de capillarité sur un échantillon (exemple: de pierre calcaire)	31
Figure I.22 : Perméabilité à l'eau des béton.....	32
Figure I.23 : Appareil de perméabilité à l'eau	32

Chapitre II: Caractérisation des matériaux

Figure II.1 : Echantillons de gravier 8/16 et de gravier 3/8 et sable 0/5	41
Figure II.2 : Courbe Analyse granulométrique de gravier 8/16	42
Figure II.3 : Courbe Analyse granulométrique de gravier 3/8	43
Figure II.4 : Courbe Analyse granulométrique de sable 0/5	44

Figure II.5 : Essai Equivalent de sable	45
Figure II.6 : Le Superplastifiant TEMPO-12	46
Figure II.7 : déchets de brique	47
Figure II.8 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Brique	47
Figure II.9 : Déchets de marbre	48
Figure II.10 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Marbre	48
Figure II.11 : Déchets de verre	49
Figure II.12 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Verre	50
Figure II.13 : Déchets de béton	50
Figure II.14 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Déché de Béton	51
Figure II.15 : sable de dune	52
Figure II.16 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Sable des dunes	52
Figure II.17 : Exemple mesure la masse volumique absolue	53

Chapitre III: Elaboration des bétons

Figure III.1 : Courbes granulaires des trois granulats, la courbe brisée, avec les lignes de partage	58
---	-----------

Chapitre IV: Essais sur bétons: résultats et interprétations

Figure IV.1 : Essais de l'affaissement au cône d'Abrams BO.....	71
Figure IV.2: Essai de la boîte en L.....	72
Figure IV.3: Essai de stabilité au tamis.....	73
Figure IV.4: Essai J-Ring.....	74
Figure IV.5 : l'éprouvette sou la compression	75
Figure IV.6 : Courbes graphique montrant l'évolution de la résistance à la compression en (MPa) de tous les six échantillon en fonction du temps	76
Figure IV.7 : Échantillon sous l'essai de traction par flexion	78
Figure IV.8 :Courbes graphique montrant l'évolution de la résistance à la traction par flexion en (MPa) de tous les six échantillon en fonction du temps	79
Figure IV.9: Echantillons pour l'essai de l'absorption d'eau par capillarité	81
Figure IV.10 : Courbes graphique montrant l'évolution d'absorption de l'eau par capillarité sur les bétons étudiés	82
Figure IV.11 : Courbes graphique montrant l'évolution d'absorption de l'eau par capillarité en fonction de la masse d'eau absorbée en Kg/m² et de la racine carrée	82

du temps ($s^{1/2}$) sur les bétons étudiés.....	
Figure IV.12 : Etapes de l'essai de Perméabilité du béton.....	83
Figure IV.13: Colonnes graphiques montrant les valeurs du coefficient de perméabilité sur les bétons étudiés	84
Figure IV.14 : Colonnes graphiques montrant les valeurs de la profondeur d'eau à l'intérieur de l'échantillons étudiés	85
Figure IV.15 : mesure du retrait	86
Figure IV.16 : l'étalonnage	86
Figure IV.17 : colonnes graphiques montrant les valeurs de retrait selon jour de mesure sur les bétons étudiés	87
Figure IV.18 : Colonnes graphiques montrant les valeurs de retrait au vingthuitième jour sur les bétons étudiés	88
Figure IV.19 : Essai d'auscultation sonique	89
Figure IV.20 : Courbes graphiques montrant l'évolution des valeurs des mesures ultrasoniques sur les bétons étudiés	90

liste des abréviations

- ACI: **A**merican **C**oncrete **I**nstitute (En anglais).
- AFGC: **A**ssociation **F**rançaise de **G**énie **C**ivil.
- BAP: **B**éton **A**uto **P**laçant.
- BO: **B**éton **O**rdinaire.
- CANMET/ACI: International Conference on Recent Advances in Concrete Technology.
- CBI: **C**ément **O**ch **B**etong **I**nstitute.
- D max: **D**iamètre **M**aximal des Granulats Utilisés.
- EASEC-2: The Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction(En anglais).
- E/C: Grandeur exprimant le rapport entre le poids d'Eau de gâchage et le poids de Ciment d'un béton.
- G/S:La quantité qui exprime le rapport entre le poids de Gravier et le poids de Sable dans le béton.
- LCPC: **L**aboratoire **C**entral de **P**onts et **C**haussées.
- m/s: **m**ètre/seconde.
- NF EN/: **N**orme **F**rançaise **E**uropean **N**orm.
- RILEM: **R**éunion **I**nternationale des **L**aboratoires et **E**xperts des **M**atériaux.
- **T500**: **T**: temps d'écoulement en secondes, **500**: diamètre de mesure en millimètre.
- $\sigma'_{28\text{ j}}$: résistance moyenne en compression à 28 jours.
- $\sigma_{28\text{ j}}$: la résistance moyenne visée pour le béton.
- C/E: :rapport Dosage en ciment/ Dosage en eau.
- σ'_{c} : Classe vraie de ciment en MPa.
- G : Coefficient granulaire.
- Mg: masse de gravier.
- Vg : Volum de gravier.
- ρ_{g} : La masse volumique de gravier
- Vc :volume absolu du ciment.
- Mc : masse du ciment.
- ρ_{c} : La masse volumique du ciment.
- Vgt : volume absolu des granulats.
- Vs : volume absolu du sable.

- Mg : masse du gravier.
- NA 442 : Ciments : composition, spécification et critères de conformité des ciments courants.
- CEM II / B-L : Ciment portland au calcaire.
- 42,5 N : classes de résistance courante à 28 jours, à court terme ordinaire.

Résumé

Ce travail porte une étude expérimentale sur la composition et la caractérisation des bétons auto-plaçant confectionnés à partir des déchets de construction (Béton, Marbre, Verre, Brique et sable des dunes) et distribués comme suites successivement béton auto-plaçant avec: 40% Poudre de déchet de béton, 40% Poudre de Marbre, 40% Poudre de verre, 15% Poudre de brique et 25% poudre de sable de dune avec des comparaisons qui ont été faite par apport au béton ordinaire. L'objectif principal de cette recherche est de valorisation des déchets de matériaux de construction comme additifs pour le béton auto-plaçant, pour la disponibilité gigantesque de ces matériaux dans la nature, et pour réduire les déchets et à préserver les ressources naturelles. Dans notre étude on utilise 90 éprouvettes cylindriques (11x22 cm) pour les essais de la compression et ultrason, et 90 éprouvettes prismatiques (7x7x28cm) pour les essais de retrait et la traction par flexion, et 18 éprouvettes cubique (15x15x15cm) pour l'essai de perméabilité, et 18 éprouvettes cubique (10x10x10cm) pour l'essai d'absorption d'eau par capillarité. Les essais de cette étude ont conclu que le (BAP avec poudre de brique) avait les performances les plus élevées dans toutes les testes, à l'exception de l'essai de perméabilité, qui a été après le (BAP avec poudre de verre), qui a donné la meilleure efficacité. Quant à l'essai d'absorption d'eau par capillarité, l'efficacité de la performance était après (BAP avec poudre de brique), (BAP avec poudre de sable des dunes), puis (BAP avec poudre de marbre).

Mots clés: Béton, Béton auto-plaçant, Compression, Traction par flexion, Variation de dimensionnement, Ultrason, Absorption d'eau par capillarité, Perméabilité.

ملخص

هذا العمل يشمل دراسة تجريبية حول تركيبة و خصائص الخرسانة ذاتية التوضع المصنوعة من بقايا مواد البناء (الخرسانة، الرخام، الزجاج، الآجر، ورمال الكثبان) و نسب إضافتها للخرسانة على النحو التالي (خرسانة ذاتية التوضع مع: 40% مسحوق نفايات الخرسانة، 40% مسحوق الرخام، 15% مسحوق الزجاج، 25% مسحوق رمال الكثبان) و تمت مقارنتها بالخرسانة العادية. الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تثمين نفايات مواد البناء كإضافات للخرسانة ذاتية التوضع بناءً على توافر هائل لهذه المواد في الطبيعة، ولتقليل النفايات وللحفاظ على الموارد الطبيعية، في دراستنا، استخدمنا 90 قالباً اسطوانياً (22x11 سم) لاختبارات الضغط والموجات فوق الصوتية، و90 قالباً موشوري الشكل (28x7x7 سم) لاختبارات الانكماش والشد بالانحناء، و18 قالباً مكعباً (15x15x15 سم) لاختبار النفاذية، و18 قالباً مكعباً (10x10x10 سم) لاختبار امتصاص الماء بالخاصية الشعرية. وخلصت الاختبارات في هذه الدراسة إلى أن (الخرسانة ذاتية التوضع بإضافة مسحوق الآجر) حقق أعلى أداء في جميع الاختبارات، باستثناء اختبار النفاذية الذي جاء بعد (الخرسانة ذاتية التوضع بإضافة مسحوق الزجاج) الذي أعطى أفضل كفاءة. أما اختبار امتصاص الماء بالخاصية الشعرية فقد جاءت كفاءة الأداء بعد (الخرسانة ذاتية التوضع بإضافة مسحوق الآجر)، (الخرسانة ذاتية التوضع بإضافة مسحوق الرمل)، ثم (الخرسانة ذاتية التوضع بإضافة مسحوق الرخام).

الكلمات المفتاحية: خرسانة، خرسانة ذاتية التوضع، الضغط، الشد بالانحناء، التغير في الأبعاد، الموجات فوق الصوتية، امتصاص الماء بالخاصية الشعرية، النفاذية.

Abstract:

This work involves an experimental study on the composition and characterization of self-compacting concrete made from construction waste (concrete, marble, glass, brick, and dune sand), successively distributed as self-compacting concrete with: 40% concrete waste powder, 40% marble powder, 40% glass powder, 15% brick powder, and 25% dune sand powder, with comparisons made in relation to ordinary concrete. The main objective of this research is the valorization of construction material waste as additives for self-compacting concrete, due to the enormous availability of these materials in nature, aiming to reduce waste and preserve natural resources. In our study, we used 90 cylindrical specimens (11x22 cm) for compression and ultrasonic tests, 90 prismatic specimens (7x7x28 cm) for shrinkage and flexural tensile tests, 18 cubic specimens (15x15x15 cm) for permeability testing, and 18 cubic specimens (10x10x10 cm) for water absorption testing by capillarity. The tests in this study concluded that self-compacting concrete with brick powder addition achieved the highest performance in all tests, except for the permeability test, where self-compacting concrete with glass powder addition performed the best. As for the water absorption test by capillary action, the performance efficiency came after self-compacting concrete with brick powder addition, followed by self-compacting concrete with sand powder addition, and then self-compacting concrete with marble powder addition.

Key words: Concrete, Self-compacting concrete, Compression, Flexural tensile strength test, Pull out test, Ultrasonic Pulse Velocity Test, Water absorption, Permeability, Flexural tensile strength test

Introduction générale

L'avènement du béton a été l'une des avancées les plus révolutionnaires dans l'histoire de l'ingénierie et de la construction. Depuis son invention, le béton a joué un rôle crucial dans la réalisation d'infrastructures durables et dans l'édification d'innombrables structures emblématiques à travers le monde. Sa polyvalence, sa durabilité et sa résistance en ont fait un pilier fondamental de l'industrie de la construction.

La consommation mondiale de béton est phénoménale, avec des quantités massives utilisées chaque année pour des projets de toutes tailles, des trottoirs aux gratte-ciel. Cette demande constante a également stimulé la recherche et le développement continu dans le domaine du béton, conduisant à l'émergence de nouveaux types de béton offrant des caractéristiques améliorées, des performances supérieures et une durabilité accrue.

Parmi ces innovations, le béton auto-plaçant représente une avancée majeure. Conçu pour s'écouler et se tasser de manière autonome sans nécessiter de vibration, il simplifie considérablement le processus de coulage et améliore la qualité de la surface finale. Cette caractéristique en fait un matériau idéal pour les structures complexes et les formes architecturales Avec des détails précis.

Dans le cadre de cette mémoire, nous avons utilisés les déchets de matériaux de construction comme additifs pour le béton auto-plaçant.

Objectif de la recherche:

L'objectif principal de cette étude est de prouver la possibilité d'utiliser des déchets de matériaux de construction comme additifs pour le béton auto-plaçant. Cette étude vise également à exploiter les matériaux disponibles, à réduire les déchets et à préserver les ressources naturelles, ainsi que l'amélioration des caractéristiques physico-mécanique du béton auto-plaçant.

Pour cette raison, nous avons mené plusieurs expériences au cours desquelles nous avons évalué ce béton auto-plaçant dans des conditions fraîches et durcies, et l'avons comparé avec des échantillons de béton ordinaire.

Plan de travail:

Cette mémoire s'articule autour de quatre chapitres devisé par deux parties.

Premier partie: recherche bibliographique et contient un chapitre.

Chapitre I: Etude bibliographique sur le béton auto-plaçant.

Deuxième partie: étude expérimentale qui est divisé en trois chapitres.

Chapitre II: Caractérisation des matériaux utilisées.

Chapitre III: Elaboration des bétons.

Chapitre IV: Essais sur bétons: résultats et interprétations.

Partie 1: Recherche bibliographique

Chapitre I: Etude bibliographique sur le béton auto-plaçant

Chapitre I: Etude bibliographique sur le béton auto-plaçant

I.1. Introduction

Le béton auto-plaçant (BAP) représente une évolution majeure dans le domaine des matériaux de construction, offrant une solution innovante aux défis rencontrés par les méthodes traditionnelles de coulage du béton. Conçu pour éliminer la nécessité d'un compactage manuel, le BAP est formulé de manière à s'écouler et à se répartir uniformément dans les coffrages, remplissant ainsi efficacement les espaces les plus complexes sans intervention humaine.

La formulation du BAP repose sur un équilibre minutieux entre les différents composants, y compris le ciment, les granulats, les ajouts, l'eau et les adjuvants. Cette composition spécifique confère au BAP des propriétés uniques, telles qu'une fluidité exceptionnelle, une capacité d'auto-nivellement et une adhérence améliorée aux armatures, permettant ainsi une mise en œuvre plus rapide et plus efficace sur le chantier.

En outre, le BAP offre des performances mécaniques supérieures, notamment une résistance élevée à la compression et à la traction, ainsi qu'une durabilité accrue, ce qui en fait un choix privilégié pour une large gamme d'applications structurelles et Architecturales.

Sa capacité à réduire les défauts de surface et à améliorer la qualité esthétique des structures en béton en fait également un matériau attractif pour les projets nécessitant une finition de haute qualité.

En raison de ses propriétés exceptionnelles, le BAP est devenu un élément essentiel dans de nombreux projets de construction modernes, allant des infrastructures civiles aux bâtiments commerciaux et résidentiels. Son utilisation permet non seulement de réduire les coûts de main-d'œuvre en éliminant le besoin de compactage manuel, mais aussi d'accélérer les calendriers de construction grâce à une mise en place plus rapide et plus efficace.

En conclusion, le béton auto-plaçant représente une avancée significative dans le domaine de la construction, offrant une combinaison unique de performances techniques, d'efficacité de mise en œuvre et de qualité esthétique. Son adoption croissante dans l'industrie de la construction témoigne de son importance en tant que matériau de choix pour les projets nécessitant des résultats de haute qualité et une productivité accrue sur le chantier.

Le sujet de ce travail s'articule autour de la formulation et des propriétés de bétons auto-plaçant élaborés à partir de déchets de construction et de comparer les performances, en termes de résistance

mécanique, par rapport à un béton ordinaire. L'étude consiste en l'investigation de l'influence de ajouts minéraux, à savoir, la poudre de sable des dunes, et les déchets broyés de (marbre, verre, béton, brique) sur le comportement à l'état frais, à l'état durci et à la rupture des différents BAP.

I.2. Histoire du béton auto-plaçant

L'histoire du béton auto-plaçant (BAP) remonte aux années 1980. La nécessité du BAP était déclarée la première fois par le prof. Hajime Okamura à l'université de technologie de Kochi au Japon en 1986. Pendant cette période, il y avait un manque dans le nombre des ouvriers qualifiés au Japon qui a directement affecté la qualité du béton. À ce problème, le BAP a été édifié pour répondre au besoin d'un béton durable de haute résistance qui possède une bonne fluidité et qui est capable de remplir les coffrages de forme complexe et fortement ferraillés sans aucune nécessité de moyens de vibration ou de compactage.

A peu près à la même période, Aïtcin et al. définissaient également le béton à haute performance comme un béton résistant à haute durabilité en raison du faible rapport eau/ciment. Depuis lors, le terme "béton hautes performances" est utilisé dans le monde entier pour désigner le béton à haute résistance. Par conséquent, Okamura a proposé de changer le terme de son nouveau béton en "béton auto-plaçant à haute performance". En janvier 1989, Ozawa et al. ont présenté le premier document sur le béton auto-plaçant dans la deuxième conférence internationale sur l'ingénierie de structure et de la construction en Asie de l'Est et du Pacifique (EASEC-2) (*The Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*) à Chlangmai-Thaïlande. En 1992 le concept de béton auto-plaçant s'est répandu après la présentation d'Ozawa à la Conférence internationale CANMET/ACI (*International Conference on Recent Advances in Concrete Technology*) à Istanbul puis il est devenu un sujet d'intérêt commun pour les chercheurs et les ingénieurs intéressés par la durabilité du béton surtout après la publication d'Okamura en 1996 au congrès d'automne de l'ACI (*American Concrete Institute*) à New Orléans. En janvier 1997, le comité RILEM (*Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages*) sur le béton auto-plaçant a été formé et le 1er symposium sur le BAP a eu lieu à Stockholm en septembre 1999.

Depuis cette date, la recherche sur le BAP a commencé d'accroître dans le monde entier jusqu'à nos jours. Plusieurs études ont été publiées traitant les caractéristiques fraîches et durcies du BAP dans de nombreux pays.

I.3. Définition de béton auto-plaçant

Ces bétons sont des bétons spéciaux, très fluides, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans des coffrages très ferrailés. Ces bétons ne sont évidemment qualifiés d'auto-plaçant que si le matériau durci final présente des propriétés homogènes (pas de ségrégation) et présente de très bonne performance à court et à long terme.

Les propriétés caractéristiques de BAP sont :

- fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation.
- Des aérations du béton pendant son écoulement.
- Excellente aptitude au béton homogène en présence de réservations d'incorpores et de ferrailages denses.

I.4. Domaine d'utilisation des BAP

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation des structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

- Densités de ferrailage importantes.
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes.
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts.
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

I.5. Avantages et inconvénients des BAP

Le béton auto-plaçant BAP présentent de nombreux avantages, on cite:

I.5.1. Avantages techniques

- Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton.
- Réalisation d'éléments de forme complexe.

- Bétonnage en milieux fortement ferraillés.

I.5.2. Avantages économiques

- Réduction du cout de main d'œuvre et du temps de bétonnage.
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

I.5.3. Avantages écologiques

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage). [01]

I.5.4. Inconvénients de BAP

- La composition est très sensible.
- Le coût BAP est relativement élevé en raison des additifs et des adjuvants.

I.6. Structure des BAP

Après plusieurs recherches effectuées en laboratoires, les essais ont montré que pour répondre aux exigences du cahier des charges, la composition d'un béton auto-plaçant doit avoir certaines caractéristiques. [02]

I.6.1. Grande proportion en fines

pour assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage.

I.6.2. Volume de pâte important (ciment+additions+eau efficace+air)

Le rôle de la pâte est de séparer les gravillons pour limiter leurs contacts, en particulier dans les milieux ferraillés, et ainsi prévenir la formation de voûtes susceptibles de bloquer l'écoulement.

I.6.3. Faible volume en gravillons

Les gros granulats sont à l'origine des blocages du béton en zone confinée, c'est la raison pour laquelle leur volume est limité dans les BAP. Il ya deux facteurs à prendre en compte, pour les BAP le rapport gravillon/sable (G/S) de l'ordre de 1 et le diamètre maximal des gravillons (D_{max}) dans un BAP compris classiquement entre 10 et 20mm.

I.6.4. Ajouts de super plastifiant

Les superplastifiants sont des réducteurs d'eau à haute efficacité. Leur mode d'action principal est d'augmenter la maniabilité des bétons.

I.6.5. L'utilisation d'agent de viscosité dans des cas particulier

Les agents de viscosité sont utilisés essentiellement pour améliorer la cohésion et la stabilité des mélanges de béton. [03]

I.7. Principaux constituants des BAP

En général, les BAP possèdent les mêmes constituants que les BO, à savoir, le **ciment**, l'**eau**, **Granulats** (sable, gravier). A ces quatre constituants viennent s'**ajouter** (les fines) et les **adjuvants** selon la propriété demandée.

Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie. [04]

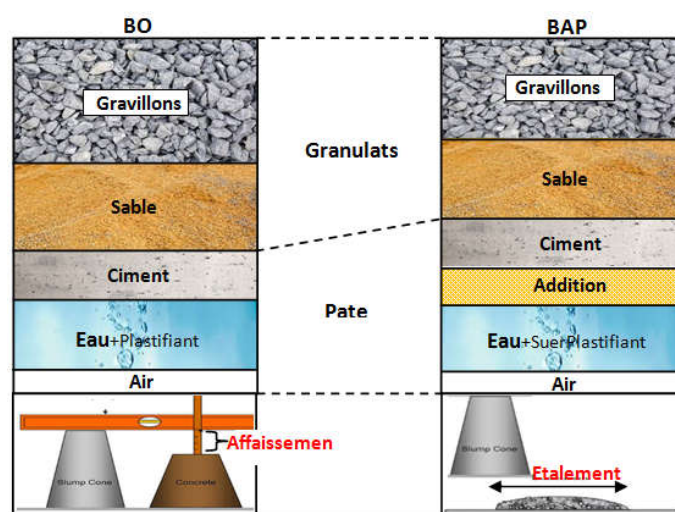


Figure I.1 : Comparaison entre composition de BAP et d'un BO

I.7.1. Matériaux de base

I.7.1.1. Le ciment

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales. [05]

I.7.1.1.1.Définition

Le ciment est un liant hydraulique. C'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

I.7.1.1.2. Constituant des ciments

Les ciments courants ont pour constituant principal le clinker, auquel il peut être ajouté d'autres matériaux (calcaire, laitier de haut fourneau, les cendre volantes, etc.) dont le but est de modifier certaines de leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit en raison des conditions environnementales, soit pour des raisons de performances mécaniques. On distingue des constituants principaux, secondaires et additifs. [06]

I.7.1.2. L'eau de gâchage

Pour convenir à la confection de BAP, l'eau de gâchage ne doit contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. À cet effet, une analyse chimique de l'eau non potable peut être nécessaire pour détecter toute teneur trop élevée en ces impuretés. [01]

I.7.1.3. Granulats

On définit les granulats comme l'ensemble des grains inertes compris entre 0 et 40 mm (Sable, graviers, cailloux) dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage. On distingue les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivière et les granulats concassés, obtenus à partir des roches exploitées en carrières.

Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent.

La courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées. [07]

est pour Les BAP sont réalisés avec:

- granulats roulés ou concassés: (Le coefficient de frottement est plus faible entre les granulats roulés qu'entre les granulats concassés).
- Afin d'empêcher tout risque de blocage lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm.
- La proportion des gravillons par rapport au sable est plus faible qu'avec un béton ordinaire afin de permettre l'écoulement du matériau dans les zones confinées.

✚ Le rapport G/S est de l'ordre entre 1 et 1.2. [08]

I.7.2. Les ajouts (les fines)

Ce sont des particules très fines incorporées dans le béton pour améliorer ses caractéristiques physico-chimiques. On cite : la fumée de silice, les cendres volantes, laitiers de haut fourneau, pouzzolanes, fillers calcaires, etc.

I.7.3. les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faibles quantités n'excédant pas 5% de la masse du ciment, afin d'améliorer certaines propriétés, contrairement au ciment, aux granulats et à l'eau, ils ne sont pas essentiels au béton, mais sont cependant un constituant important de plus en plus utilisé, au point que, actuellement dans la majorité des pays, un béton confectionné sans adjuvant est une exception.

Les principaux adjuvants sont :

✚ Les superplastifiants

ils permettent d'obtenir des bétons maniables et ouvrables par défloculation des grains de ciment. À une consistance donnée ils offrent la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et à la mise en place du béton, et par conséquent augmenter les caractéristiques mécaniques du béton.

✚ Les retardateurs de prise

ils trouvent leur utilisation dans le transport du béton sur de grandes distances, en particulier par temps chaud. Ils sont aussi utilisés pour éviter toute discontinuité lors du reprise de bétonnage.

Les accélérateurs de prise

ils trouvent leur utilisation dans la réalisation de scellement ou d'étanchement ainsi par temps froid.

Les accélérateurs de durcissement

ils permettent d'obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques à jeune âge afin de décoffrer rapidement et augmenter par conséquent la cadence de travail, en particulier en temps froid.

Les entraîneurs d'air

ils favorisent la formation de microbulles d'air (agrégats fictifs) de façon homogène afin d'augmenter la résistance du béton aux cycles gel-dégel.

Les hydrofuges de masse

ils permettent d'étanchéifier le béton, en colmatant les pores capillaires, ils trouvent leur utilisation dans la réalisation des réservoirs d'eau, piscines, bêche à eau.

I.8. Propriétés des BAP à l'état frais

I.8.1. Le remplissage

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. Le béton auto-plaçant est capable de remplir les vides et les espaces difficiles dans un milieu confiné, en se déformant sous l'effet de son propre poids, et sans sollicitations. Le remplissage est observé sous deux aspects : la capacité de remplissage et la vitesse de remplissage. Le premier aspect est lié à la capacité de déformation du béton, il traduit le pourcentage rempli ou la distance atteinte dans l'espace. Le second est lié à la vitesse de déformation, il traduit ainsi la vitesse d'écoulement du béton. Le test d'étalement au cône d'Abrams donne des indications sur les deux aspects. [08]

I.8.2. La résistance à la ségrégation

La ségrégation d'un mélange correspond à l'absence d'homogénéité dans la distribution des constituants ce qui provoque généralement une séparation de phases solide et liquide ou bien une séparation des phases solides en fonction de leurs dimensions. La ségrégation peut donc se manifester dans un béton de façons différentes, comme la séparation entre la pâte et les granulats, la

séparation entre le gravier et le mortier qui peut conduire à un blocage en zones confinées, et une répartition non homogène de l'air occlus.

Pour éviter la ségrégation, il faut réduire la quantité d'eau libre dans le béton en réduisant le rapport E/C du béton. La résistance à la ségrégation du béton peut aussi être augmentée en élevant la viscosité de l'eau dans la suspension, avec certains agents de viscosité.

I.8.3. La capacité de passage

Le béton auto-plaçant doit réunir à la fois la fluidité (la capacité de remplissage) et la résistance à la ségrégation pour produire un bon écoulement. Cependant, dans les milieux confinés, il faut que le béton puisse s'écouler dans les espaces étroits et entre les armatures.

En effet, le blocage des granulats est provoqué par la quantité importante de granulats dans le béton, et par la taille des plus gros granulats par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement. Le mécanisme de blocage peut être illustré dans un plan par le schéma de la figure I.6 ci dessous qui montre un béton s'écoulant entre deux armatures avant et au moment du blocage.

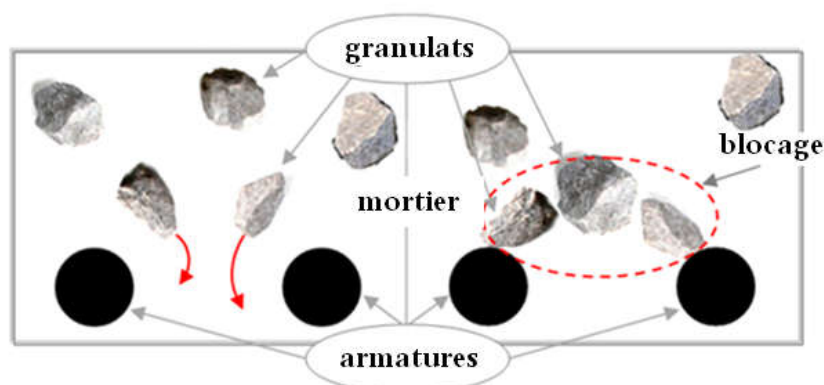


Figure I.2 : représentation en plan d'un blocage de granulats à travers deux armatures

Donc, un béton est qualifié d'auto-plaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, en trouvant le bon compromis entre des caractéristiques presque contradictoires : fluidité et résistance à la ségrégation. Pour résumer, on présente les propriétés des BAP, les moyens de les obtenir et les actions entreprises pour leur mise en œuvre dans le tableau I.1 :

Tableau I.1 : Propriétés d'ouvrabilité des BAP [08]

Propriétés d'un BAP	Moyens d'obtention	Actions à mener dans la formulation
Remplissage(fluidité)	Réduction des frictions entre les particules	Augmentation du volume de pâte
	Optimisation de la pâte	Utilisation des superplastifiants Optimisation du rapport E/C
Résistance à la segregation	Réduction de l'eau libre dans le béton	Réduction du rapport E/C
		Utilisation de matériaux de grande surface
		Utilisation d'agents de viscosité
	Réduction de la séparation de phases	Réduction du rapport E/C
		Utilisation d'agents de viscosité Réduction de la taille maximale des granulats
Capacité de passage	Réduction de blocage des granulats	Réduction du volume de gravier
		Réduction de la taille maximale des granulats

I.9. Caractérisation d'un béton auto-plaçant à l'état frais

Pour déterminer les caractéristiques du béton auto-plaçant à l'état frais, plusieurs tests importants sont effectués pour évaluer sa qualité et son adéquation à l'usage prévu. Parmi ces tests :

I.9.1. La mesure d'étalement au cône d'Abrams (NF EN 12350-8) [19]

L'essai d'étalement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le **béton auto-plaçant** frais.

L'étalement est aussi connu sous le nom de (slump flow) provenant de l'anglais.

But

Ce test réalisé pour déterminer sa consistance.

Mode opératoire

Pour réaliser cet essai une table d'étalement et un cône d'Abrams sont utilisés. Le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200 mm, un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300 mm.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- le cône d'Abrams est placé à l'envers et maintenue sur une plaque en acier ayant une surface dure et non-absorbante.

- le cône est rempli avec du béton frais.
- le cône est arasé avec une tige.
- le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement.
- le béton très fluide s'affaisse complètement et s'étale sous la forme d'une galette sur la table d'étalement.
- on mesure le diamètre le plus grand ainsi que le diamètre qui lui est perpendiculaire.

L'étalement est la moyenne de ces deux diamètres qui ne doivent pas être différents de plus de 5cm.

Au cours de cet essai.

Interprétation des résultats

Plus l'étalement est important, plus le béton est fluide.

La norme NF EN 206 classe l'étalement du béton en trois groupes. [09]

Tableau I.2 : Classes d'étalement au cône d'Abrams :

Classe	Étalement en mm	Domaine d'application de BAP
SF1	550 - 650	- Structures non ou peu ferraillées, béton coulé à partir du haut (ex: dalles). - Coulage par système de pompage du BAP (ex: tunnels). - Petites sections (ex: les piles et les fondations profondes).
SF2	660 – 750	- La majorité des applications.
SF3	760 – 850	- Application vertical. - Structures trop ferraillées. - Coulage à partir du dessous du coffrage. - Structures de forme complexe.

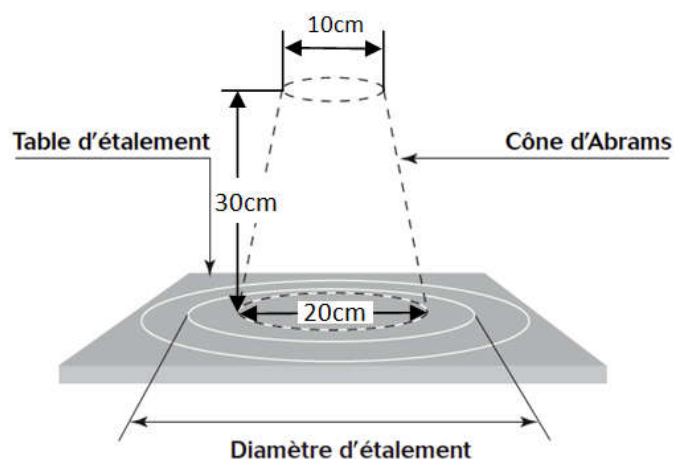


Figure I.3 : Cône d'abrams

I.9.2. Essai à la boîte en L (NF EN 12350-10) [20]

L'essai à la boîte en L est un essai réalisé sur du **béton auto-plaçant**

Ce test est aussi connu sous le nom de (L-box) provenant de l'anglais.

But

Ce test réalisé pour détermination du taux de remplissage [10]

Mode opératoire

La boîte en L est une boîte en acier avec deux parties, l'une verticale et l'autre horizontale, séparées par une trappe et une grille de deux ou de trois barres de diamètre et d'espacement fixé. L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- remplir la partie verticale de la boîte en L.
- attendre une minute avant de soulever la trappe, le béton s'écoule à travers la grille.
- calculer le rapport de la hauteur de béton dans la partie verticale de la boîte après l'essai et la hauteur du béton dans l'extrémité de la partie horizontale.

Ce rapport correspond au taux de remplissage.

Interprétation des résultats

Plus le taux de remplissage est élevé, moins le béton est susceptible de ségréguer. Pour pouvoir utiliser ce béton, le taux de remplissage (H_2/H_1) doit être supérieur ou égale à **0,8**.

La norme NF EN 206 classe les bétons auto-plaçant selon leur taux de remplissage et selon le nombre de barres.

Tableau I.3 : Classes d'aptitude à l'écoulement : boîte en L

Classe	Taux de remplissage de la boîte en L
PL1	≥ 0.80 avec 2 armatures
PL2	≥ 0.80 avec 3 armatures

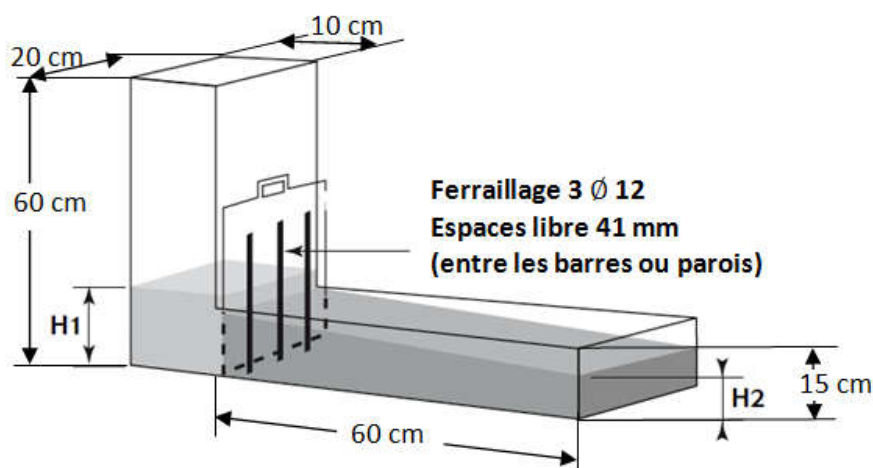


Figure I.4 : la boîte en L

I.9.3. L'essai de stabilité au tamis(NF EN 12350-11) [21]

L'essai de stabilité au tamis est un essai réalisé sur du béton auto-plaçant frais pour évaluer sa **résistance à la ségrégation statique**.

La ségrégation statique a lieu durant la prise du béton auto-plaçant frais : les plus gros et/ou les plus lourds granulats auront tendance à couler et les plus petits et/ou les plus légers à remonter.

Mode opératoire

Pour réaliser cet essai un seau et un tamis sont utilisés. Le tamis a une ouverture de maille de 5 mm.

L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes :

- remplir un seau de 10 litres avec du béton ;
- le laisser reposer 15 minutes ;
- verser la partie supérieure (4,8 kg de béton $\pm$ 0.2 kg) sur le tamis(5mm) depuis une hauteur de 50cm.
- attendre 2 minutes puis peser la laitance qui est passée au travers le tamis(5mm).
- calculer le pourcentage de laitance en divisant la masse de la laitance par la masse initiale du béton.

Interprétation des résultats

Plus le pourcentage de laitance est faible, plus la stabilité à la ségrégation statique est grande.

La norme NF EN 206 classe les bétons selon leur résistance à la ségrégation statique en deux classe. [09]

Tableau I.4 : Critères de stabilité à la ségrégation des BAP [11]

Pourcentage de laitance (Pen %)	Critères de stabilité	Remarque
$0 \leq P \leq 15$	Stabilité satisfaisante	Béton homogène et stable
$15 > P \geq 30$	Stabilité critique	Vérifier les autres critères de stabilité
$P > 30$	Stabilité très mauvaise	Ségrégation systématique, béton inutilisable

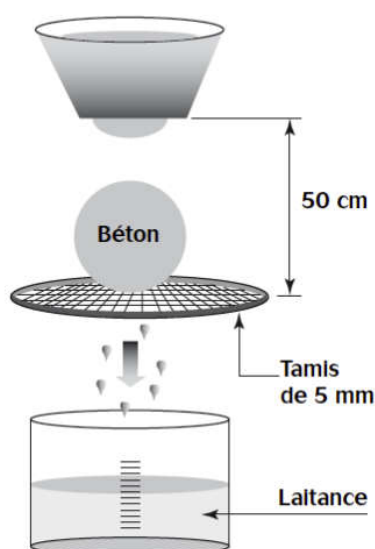


Figure I.5 : L'essai de stabilité au tamis

I.9.4. Essai d'écoulement à l'anneau (J-Ring) (NF EN 12350-12) [22]

cet essai pour détermination de l'aptitude à l'écoulement en milieu confiné (mesurée par le palier de blocage), l'étalement et le temps d'étalement t_{500j} du béton auto-plaçant lorsque le béton s'écoule à travers un anneau supportant une grille d'armatures.

Cet essai ne convient pas lorsque le diamètre maximum des granulats excède 40 mm. [10]

But

Permet de déterminer l'amplitude à l'écoulement du BAP.

Mode opératoire

Placer une plaque métallique de manière plane sur le sol.

Placer l'anneau de (j-ring) au centre de la plaque.

Ensuite, placer le cône d'abrams au centre de l'anneau sur la plaque.

Remplissez le cône de béton jusqu'au milieu, puis nivelez la surface avec une tige spéciale, puis terminez le remplissage du cône.

Soulevez délicatement le cône verticalement.

Interprétation des résultats

mesure de l'étalement final (Moyenne de deux diamètres perpendiculaires) en mm.

mesure du temps d'écoulement T500 en secondes.

mesure du blocage qui est donné par la différence de niveau entre le béton du centre de la galette formée et le béton au périmètre externe de l'anneau (mm).

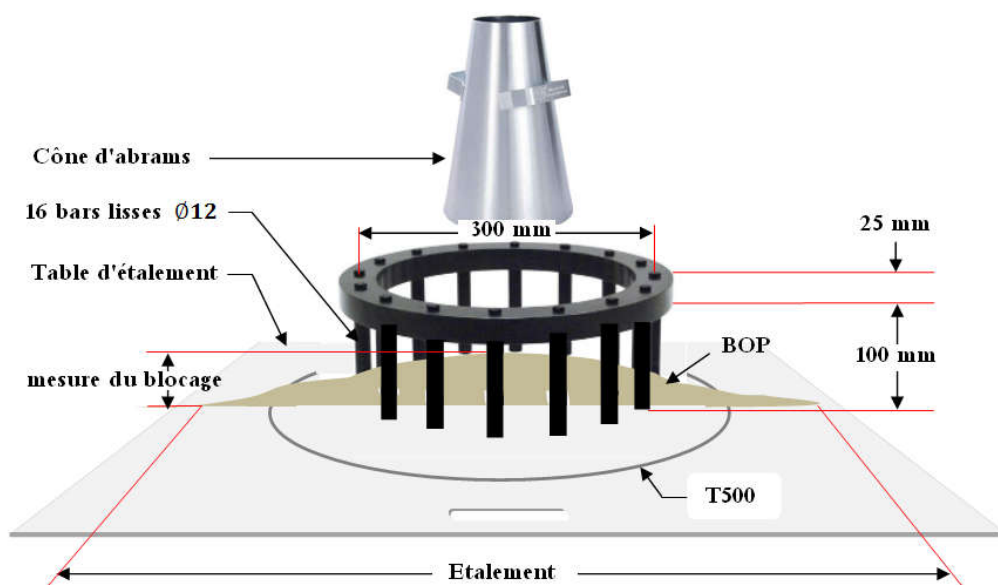


Figure I.6 : Essai écoulement (J-Ring)

I.9.5. L'essai de l'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel) (NF EN 12350-09) [23]

L'essai spécifie la méthode de détermination de la durée d'écoulement à l'entonnoir en V pour le béton auto-plaçant.

Cet essai ne convient pas lorsque le diamètre maximum des granulats excède 22,4 mm.

But

Permet de déterminer la viscosité d'un béton en fonction de son temps d'écoulement.

Mode opératoire

- l'entonnoir est rempli de béton, puis on laisse reposer pendant 1 minute.
- ouvrir la trappe située à la base.
- on mesure le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçoit le jour par l'orifice, en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir.

Interprétation des résultats

Le temps d'écoulement varie généralement entre 8 et 14 secondes, et il permet de connaître l'état de consistance du béton auto plaçant.

Plus le temps d'écoulement est long, moins le béton est fluide, et à l'inverse plus le béton est fluide et plus il est visqueux.



Figure I.7 : L'essai de l'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel)

I.9.6. Essai de boîte en forme de U

Cet boîte en forme de U de l'essai est composé de deux parties R1 et R2 séparées par une trappe.

But

Permet **d'évaluer la mobilité du BAP en milieu confiné** et vérifier sa capacité de mise en place.

Mode opératoire

L'essai consiste à remplir la partie R1 avec le béton.

puis à ouvrir la trappe de séparation et laisser le béton s'écouler librement vers deuxième partie R2.

Après écoulement on mesure la hauteur de remplissage dans la partie R2.

Interprétation des résultats

pour un BAP doit être la hauteur de remplissage dans la partie R2 supérieure à 30cm [02]

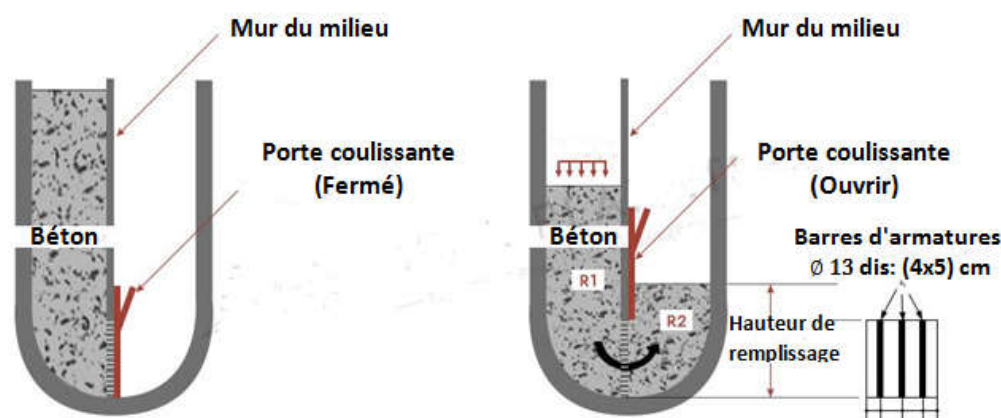


Figure I.8 : Essai de boîte en forme de U

I.10. Caractérisation d'un BAP à l'état durci (destructif et non destructif)

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques:

a) Les essais destructifs:

- Les essais de compression.
- Les essais de traction.
- Module d'élasticité.

b) Les essais non destructifs :

- Essai au scléromètre.
- Essai d'auscultation dynamique.
- Essai de la variation dimensionnelle du béton.

I.10.1. Les essais destructifs du béton

I.10.1.1. Essai de compression (NF EN 12390-4) [24]

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force [F] croissante et constante jusqu'à rupture de celle ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

But

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

Mode opératoire

Préparer l'échantillon d'essai (en s'assurant que les deux surfaces exposées à la pression sont planes et propres).

S'assurer que les deux plaques de la presse en contact avec l'échantillon à tester sont bien propres.

Placer l'échantillon au centre de la plaque principale de l'appareil.

Enregistrez les informations nécessaires sur la machine (type d'échantillon - tailles d'échantillon - accélération de la compression etc.).

puis appuyez sur le bouton de démarrage. La charge est appliquée progressivement sans choc et se poursuit jusqu'à rupture de l'éprouvette.

Expressions des résultats

Après les données nécessaires, les valeurs de la force et de la résistance à la compression R_c sont lues directement sur l'écran de la machine (avec courbe)

Ou calculé par la formule classique $R_c(N/mm^2) = F/S$ où :

- **F**: représentent la valeur de la force relevée au moment de la rupture de l'éprouvette sur le cadran de la presse (N).

- S : La surface sous la pression en (mm²).

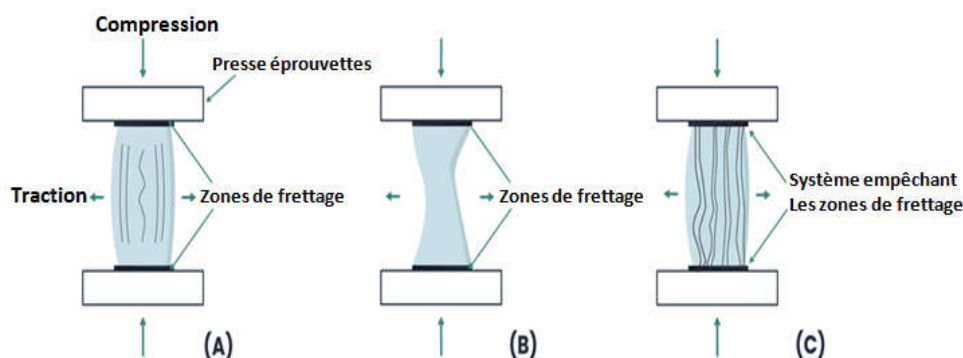


Figure I.9 : la compression sur l'éprouvette

Figure I.10 : machine de la presse

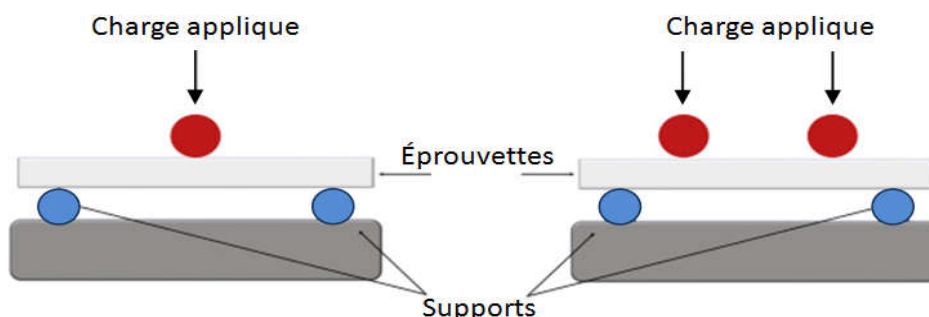
I.10.1.2. La résistance en traction

La résistance à la traction (f_{t28}) est peu étudiée en comparaison à la résistance à la compression. Du fait qu'elle est beaucoup plus faible que cette dernière. De plus, la résistance à la traction s'annule même complètement si des fissures de retrait se sont développées. Selon les normes en vigueur, il existe 3 principal méthodes d'essais de tractions:

I.10.1.2.1. La résistance en traction par flexion (NF P18-407) [25]

Cet essai s'effectue en général selon l'une des deux procédures:

- Avec une seule charge concentrée au milieu de l'éprouvette.
- Avec deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (**Figure I.11**).



Avec une seule charge concentrée au milieu

Avec deux charges concentrées, symétriques, égales

Figure I.11 : Schématisation du dispositif d'essai de traction par flexion

I.10.1.2.2. La résistance en traction par fendage (NF P12390-6) [26]

Appelé (Essai Brésilien), cet essai consiste à écraser une cylindre de béton suivant deux forces opposées (**Figure I. 12**).

La résistance en traction sera exprimée par l'équation suivante:

$$f_{tj} = 2 \frac{p}{\pi DL}$$

Avec:

f_{tj} : La résistance en traction.

p : La force appliquée.

D : Diamètre de cylindre.

L : Longueur de cylindre.

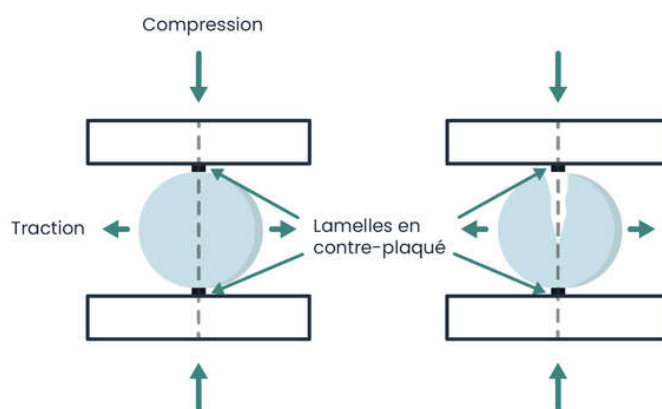


Figure I.12 :Schématisation du dispositif d'essai de traction par fendage

I.10.1.2.3. La résistance en traction directe

Cet essai est considéré comme étant le plus délicat et le plus difficile à réaliser parmi les trois. En effet, sa mise en œuvre nécessite une préparation des éprouvettes par sciage des extrémités. Le collage de têtes de traction parfaitement centrées, et cela, sans aucun effort de flexion (Figure I. 13)[12]

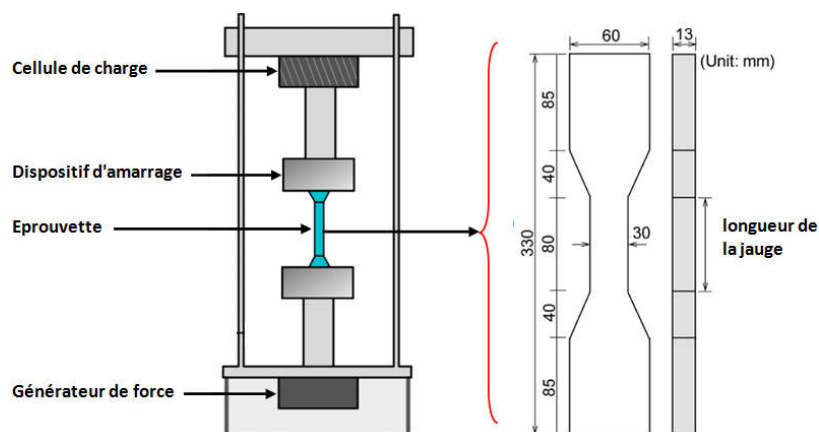


Figure I.13 :Schématisation du dispositif 'essai à la traction directe

I.10.2. Essais non destructifs du béton

I.10.2.1. Essai de la variation dimensionnelle du béton (Norme NF P 18-427) [27]

De manière générale, le **retrait** est un phénomène réduisant le volume dimensionnel du béton dû à une évaporation de l'eau contenue dans le béton. Cette évaporation se produit suite à une augmentation de la température extérieure, à la présence de réactions chimiques ou encore à une porosité trop importante. Il existe ainsi plusieurs types de retraits (plastique, thermique, endogène,...).

But

L'essai de la variation dimensionnelle du béton permet de contrôler **le gonflement ou le retrait du béton**.

méthode de mesure:

L'essai de la variation dimensionnelle du béton consiste à mesurer l'évolution de la distance entre deux plots en laiton positionnés aux deux extrémités d'une éprouvette prismatique et assurant le contact avec les détecteurs de l'appareil de mesure.

La mesure s'effectue le plus souvent à l'aide d'un appareil appelé **rétractomètre**, équipé d'un capteur de déplacement et d'une barre en acier de (28 cm ou autre), servant de référence.

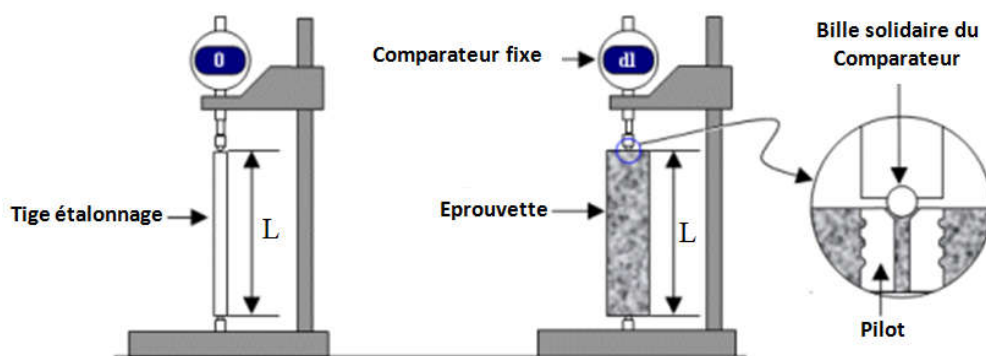


Figure I.14 : Appareillage pour la mesure de la variation dimensionnelle du béton

I.10.2.2. Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) (NF EN 12504-4) [28]

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton.

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée.

But :

Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage, sans procéder à un prélèvement d'éprouvette par carottage.

Mode Opératoire

- Travaux préparatoires:
 - Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera Fixé.
 - Employer un matériau intermédiaire entre les deux comme la vaseline, un savon, etc. et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester.
- Points de mesures:
 - Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage à tester. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, etc.) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5m. Le cas des petits éléments (poteaux, poutres, etc.), les mesures se font en six points.
- Distances minimales entre points de mesures:
 - On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en Surface.

- Étalonnage de l'appareil:

- L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation. L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige étalon dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige étalon.

- Manières de mesure:

- La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester:

✚ **Mesure en transparence directe:** Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester (Figure I.15).

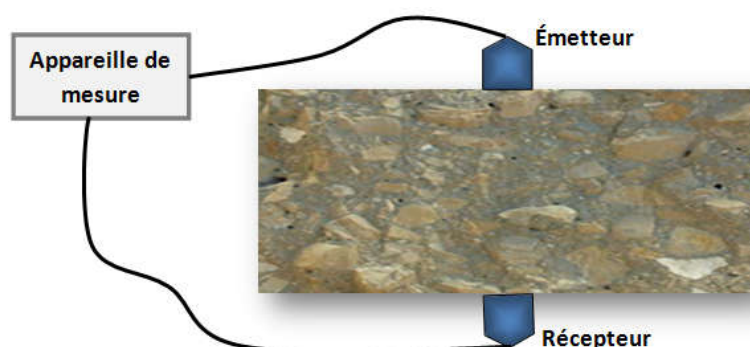


Figure I.15 : Mesures en transparence directe

✚ **Mesures en surface indirecte:** Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur (Figure I.16).

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.

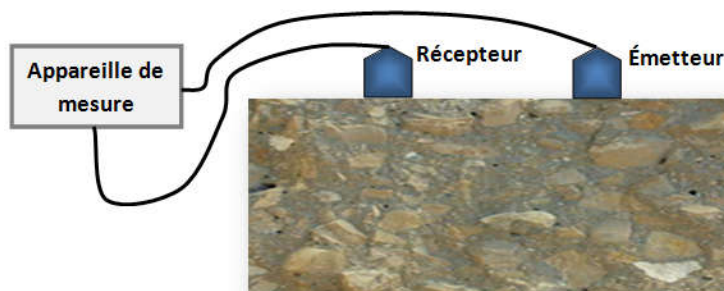


Figure I.16 : Mesures en surface

✚ **Mesures semi directe** :Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure ou on peut pas utilisé les deus autres manières (Figure I.17). [13]

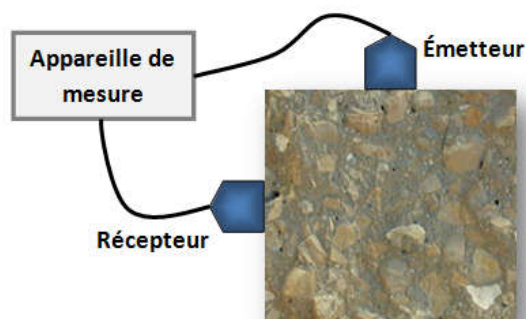


Figure I.17 : Mesures semi directe

Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons:

Formule de calcul comme suite:

$$V=d/t$$

Avec:

V: la vitesse de son en mètre/second.

d : la distance entre l'émetteur et récepteur en mètre.

t : le temps propagation d'onde par seconde.

Tableau I.5 : Classements qualitatifs

Vitesse de propagation (m/s)	Qualité
$2500 \leq V < 3200$	béton de faible résistance
$3200 \leq V < 3700$	béton de moyenne résistance
$3700 \leq V < 4200$	béton à haute résistance
$V \geq 4200$	béton à très haute résistance

I.10.2.3. Essais au scléromètre (NF EN 12504-2) [29]

Le scléromètre est un appareil pour essais non destructif sur des ouvrages ou des éprouvettes en béton. Sa simplicité d'usage et sa maniabilité font du scléromètre un instrument indispensable pour l'exécution rapide des essais sur toutes parties accessibles de l'ouvrage.

Le scléromètre est constitué d'une tête en acier, d'un ressort calibré et d'un manche utilisé pour mesurer le « rebond » de sa tête après son choc avec la surface d'un matériau ou d'une structure.

But :

le scléromètre est un moyen de mesure de la dureté superficielle d'un matériau par projeter une masse sur une surface afin de déterminer la valeur de rebondissement cette dernière qui va être traduite en valeur de résistance à la compression du matériau soumise à l'essai.

Mode opératoire:

Le test s'effectue comme suit:

- Préparation de la surface: Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou des armatures affleurantes. La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérent ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable. Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.
- Points de mesures: La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm² au moins, et structurée en une grille de points de mesure ayant pour espacement $d = 30 \div 50$ mm. Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée.

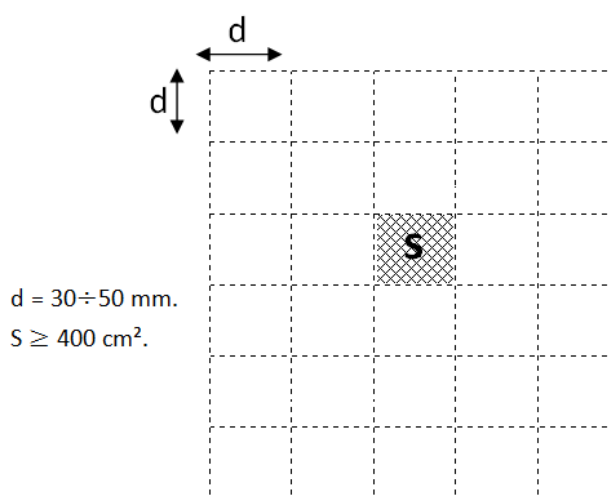


Figure I.18 : Grille de mesure sur ouvrage

Effectuer au moins 10 mesures successives dans la même zone. La surface de cette zone est équivalente à celle d'un carré d'environ 25 cm de côté. Au cours de ces mesures, il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de 3 à 4 cm des bords de l'élément testé.

- Méthodes de mesure de l'Indice de rebondissement: L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface du béton.

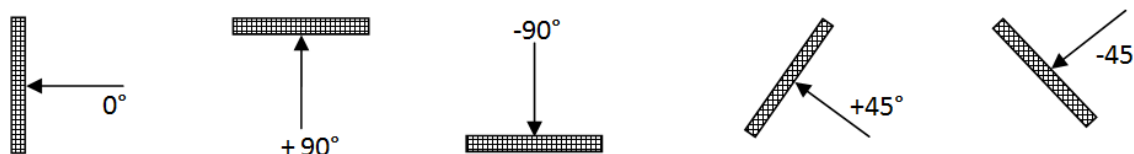


Figure I.19 : Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter

- Étalonnage de l'appareil: Le scléromètre doit être contrôlé par des essais d'étalonnage, car les constantes des ressorts changent après plusieurs utilisations. Deux méthodes sont utilisées :
 - Sur bloc en néoprène armé.
 - Sur éprouvettes de béton.

Interprétation Des Résultats De Contrôle Du Béton Au Scléromètre

- Méthode de la courbe de calibrage: De la même manière que pour l'ultrason, la courbe de calibrage est déterminée en effectuant l'essai au scléromètre sur au moins 30 éprouvettes. La courbe de calibrage doit être revue en cas de changement de la composition du béton ou des conditions de conservation. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe de calibrage est évaluée à $\pm (20\% \div 25\%)$.
- Méthode de la courbe unique: Dans la plupart des cas, la composition du béton ainsi que les conditions de conservation affectant la corrélation «Indice sclérométrique – Résistance du béton» sont inconnues. On utilise alors une courbe de transformation unique figurant sur l'appareil fourni par le fabricant. La précision sur la résistance du béton obtenue par la méthode de la courbe peut être évaluée à $\pm 50\%$.
- La résistance du béton peut aussi être obtenue à partir de la formule suivante: [13]

$$R = I^2 / 32$$

Avec: **R**: résistance.

I: indice scléromètre.



Figure I.20 : Essais au scléromètre

I.10.2.4. Absorption d'eau par capillarité des éléments de maçonnerie (NF EN 772-11) [30]

L'absorption par capillarité est une propriété hydrique qui témoigne de la capacité d'un échantillon à absorber une quantité d'eau par unité de temps et de surface, lorsqu'une seule face est en contact direct avec de l'eau, et est obtenue expérimentalement.

La détermination de cette caractéristique intrinsèque s'avère particulièrement importante pour les éléments et les structures en contact avec le sol, par exemple, plinthes, soubassements et pavage.

But :

C'est une **mesure des pores accessibles à l'eau**.

Procédure

- Les échantillons sont préalablement séchés à une température de 70 °C jusqu'à obtention d'une masse constante.
- puis pesés afin d'en déterminer la masse sèche.
- Les échantillons sont ensuite placés dans un bac permettant une mise en contact constante d'une face avec 3 ± 1 mm d'eau.
- Une pesée des éprouvettes est assurée au cours du temps, à des instants définis par la norme.

A noter que les éprouvettes testées peuvent se présenter sous la forme d'un cube ou d'un cylindre.

Interprétation des résultats

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est défini comme la pente de la régression linéaire de la partie de la courbe reliant la quantité d'eau absorbée par unité de surface à la racine carré du temps.

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{As\sqrt{t_{so}}} \times 10^6$$

Avec:

$C_{w,s}$:coefficient d'absorption d'eau par capillarité, en $g/m^2.S^{1/2}$.

$m_{so,s}$:masse de l'éprouvette après immersion pendant un temps t, en g.

$m_{dry,s}$:masse de l'éprouvette après séchage, en g.

As :surface brute de la face de l'éprouvette immergée dans l'eau, en mm^2 .

t_{so} :temps d'immersion, en s.

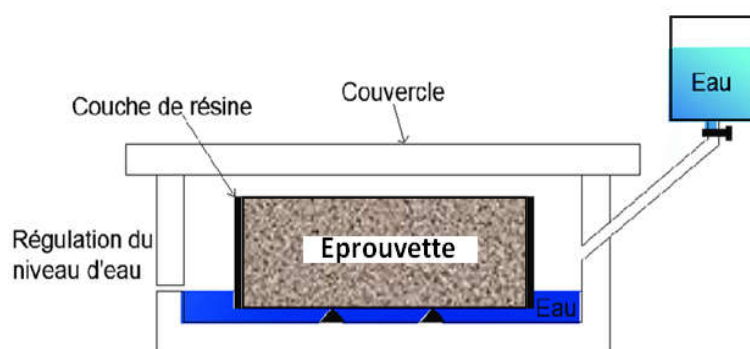


Figure I.21 : Essai de capillarité sur un échantillon (exemple: de pierre calcaire) [14]

I.10.2.5. Perméabilité à l'eau des béton (EN 12390-8) [31]

permet de calculer la profondeur de pénétration de l'eau à l'intérieur de l'éprouvette dans une période de temps prédéterminée et à une certaine valeur de pression.

La perméabilité d'un matériau dépend bien sûr de sa porosité, c'est-à-dire du volume des pores par unité de volume, mais aussi de la taille des pores et de la distribution de leur taille et de leurs interconnexions.

But

Pour **détermination de la profondeur de pénétration d'eau sous pression dans un béton durci conservé dans l'eau.**

Mode opératoire

L'essai de perméabilité consiste à :

- Alimenter l'appareil en eau propre et en air comprimé.
- Assurez-vous que l'appareil fonctionne correctement.
- La mise en place et la fixation des échantillons dans l'appareil.

- Appliquer une pression avec l'eau constante de 5 ± 0.5 bar sur l'échantillon en ouvrant les vannes pendant 72 ± 2 heures.

Détermination du coefficient de perméabilité K

Le coefficient de perméabilité **K** est défini par la loi de Darcy. Le principe de l'essai consiste à déterminer les volumes d'eau écoulés à travers un échantillon pendant une certaine durée de temps. Ces volumes d'eau sont délimités par des graduations des cellules de l'appareil. La vitesse d'écoulement **Q** est déterminée par le calcul du rapport entre le volume d'eau écoulé et le temps d'écoulement.

La perméabilité est déterminée par une loi simple de DARCY

$$Q = A \cdot K \cdot i \text{ Alors } K = Q / A \cdot i$$

Avec :

Q : le volume d'eau par unité de temps (vitesse d'écoulement) en (m³/s).

A : section traversée par l'eau (m²).

i : gradient hydraulique à travers le spécimen.

i = (la pression à l'intérieur de L'éprouvette - la pression à l'extérieur)/ épaisseur du béton. [15]

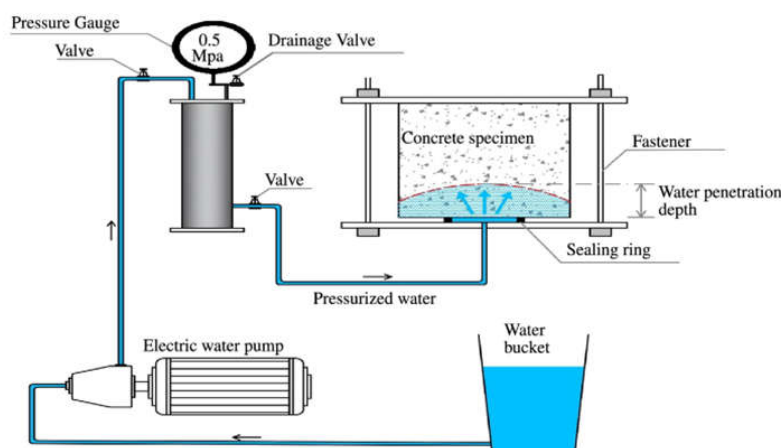


Figure I.22 : Perméabilité à l'eau des béton

Figure I.23 : Appareil de perméabilité à l'eau

I.11. Méthodes de formulations

La formulation des bétons auto-plaçant est plus élaborée que celle d'un béton ordinaire. En effet, en plus des critères habituellement choisis pour la formulation des bétons ordinaire notamment (résistance mécanique, durabilité...).

les bétons auto-plaçant contient deux propriétés qui sont contradictoires :

- ✓ une bonne fluidité pour assurer une bonne mise en place.
- ✓ et une bonne viscosité pour éviter les problèmes des ségrégations.

I.11.1. Méthode japonaise par (Okamura)

La formulation japonaise a été développée à l'Université de Tokyo par **Okamura** et al. Cette méthode consiste premièrement à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite à procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton les meilleures performances.

Le principe de base de cette approche s'appuie sur les points suivants :

- La teneur des granulats est limitée à 50% de leurs compacités, réduisant ainsi le phénomène de blocage.
- Le volume du sable représente 40% du volume total de mortier.
- L'optimisation de la pâte, notamment, du rapport E/L (eau / liant) et du dosage en superplastifiant se fait d'une manière empirique sur mortier en effectuant des essais d'étalement au mini-cône et au V-funnel.

Les travaux de Okamura et al montrent que il ya deux grandeurs élémentaires qui sont étalement relatif et vitesse relative. La fluidité du mortier est donnée par :

$$\mathbf{Tm} = \left(\frac{h}{h+y} \right) ; \quad \mathbf{Rm} = 10/t$$

Avec:

Tm :Étalement relatif.

Rm :Vitesse relative d'écoulement.

r1 et r2 :Diamètres d'étalement dans deux directions perpendiculaires en (mm).

t :Temps d'écoulement du mortier en (sec).

I.11.2. Méthode suédoise CBI (Cément Och Betong Institute): par (Petersson et al 1996)

Cette méthode développée par CBI, se caractérise par la prise en compte de ferraillements importants. Elle est basée sur le principe de fluidité dans un milieu confiné.

Ils estiment pour un confinement donné et pour chaque rapport G/S, le volume de la pâte critique pour le blocage. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées.

Le rapport E/C de la pâte et le type du ciment sont choisis en fonction de la gamme de résistance visée. Le dosage du superplastifiant est optimisé pour un écoulement auto-plaçant caractérisé essentiellement par les essais d'étalement. A fin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats, il faut ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats.

Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire, pour tout type de granulat. [3]

I.11.3. Méthode dite Française LCPC (Laboratoire Central de Ponts et Chaussées)

Cette méthode a été développée par de **Larrard et al**, il s'agit d'un model décrivant mathématiquement un empilement, à partir des caractéristiques des grains qui le composent (forme, granulométrie). Elle sert à prévoir la compacité d'un mélange granulaire selon les distributions granulaires et proportions du mélange, leur compacité propre et densité apparente.

Pour déterminer les proportion des divers constituants, la méthode préconise une proportion du liant fixée a priori (70% du ciment, 30% d'addition par exemple), et la détermination du dosage de saturation en superplastifiant, ainsi que l'estimation de la quantité d'eau en présence de superplastifiant. Le calcul sont réalisés à l'aide du logiciel en tenant du confinement (effet de paroi).

I.11.4. Méthode de l' AFGC (Association Française de Génie Civil)

Des recommandation et fourchettes sont mises en place la caractérisation des BAP à l'état frais:

- Le volume de pate varie entre 330 te 400 l/m³ (de l'ordre de 40% du volume total).
- Une quantité de fines élevée (de l'ordre de 500 kg/ m³) pour assurer une bonne maniabilité tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage.
- Un volume de gravillons limité basant sur rapport G/S (masse de gravillons sur masse de sable) proche de 1 afin d'éviter le <<blocage du béton>> dans les zones confinées.

- Un diamètre maximal réduit, en général un D_{max} compris entre 10 et 16 mm afin d'améliorer l'écoulement.
- Utilisation d'un superplastifiant (à un dosage proche du dosage de saturation) pour obtenir la fluidité souhaitée.
- Emploi éventuel d'un agent de viscosité.

Donc la formulation se fait sur la base de ces plages, et ne peut être vérifiée que par des essais effectués directement sur béton. [16]

I.11.5. Conclusion

Il n'existe pas à ce jour une méthode de formulation du béton auto-plaçant, et la plus part des formules sont conçues actuellement de manière empirique, suivant les caractéristiques à l'état frais on peut juger la formulation acceptable ou non.

A cet effet l'Association Française de Génie Civil [AFGC], a émis des recommandations qui se limitent en trois essais:

mesure d'étalement, essai de la boîte en L, et l'essai de stabilité au tamis.

I.12. Fabrication des BAP

- En principe tous les types de malaxeurs conviennent pour la fabrication des BAP.

Lors de l'introduction des différents constituants dans le malaxeur, on appliquera les mêmes consignes que celles recommandées pour les bétons vibrés. [17]

- Le temps de malaxage est légèrement plus long que pour un béton classique, afin que le mélange, riche en éléments fins et en adjuvants, soit le plus homogène possible.

c'est la raison pour laquelle on fixe le temps de malaxage à 120 secondes, cette moyenne peut être ajustée selon l'efficacité du malaxeur. [17]

Certaines formules peuvent nécessiter des séquences de malaxage spécifiques (optimisation de l'ordre d'introduction des constituants dans le malaxeur, temporisation, temps de malaxage adaptés...).

- L'un des points les plus importants de la fabrication est le contrôle strict de la teneur en eau du mélange. Il est donc impératif de mettre en œuvre des dispositions visant à maîtriser la teneur en eau du béton.

- Il est de plus nécessaire d'effectuer un contrôle renforcé des constituants tout au long de la fabrication afin d'assurer la régularité de l'ensemble des constituants. [18]

I.13. Le transport et la livraison

Le BAP doit être transporté dans des camions malaxeurs propres et en bon état. Comme dans le cas d'un béton vibré. [17]

Le chauffeur devra respecter les consignes suivantes :

- Malaxage à vitesse lente pendant le transport jusqu'au point de déchargement.
- Remise du Bon de Livraison au représentant du chantier pour valider la réception.
- Adaptation de la hauteur de la goulotte afin de limiter la hauteur de chute du béton.

la fluidité du béton peut se modifier durant le transport, la manière et l'ampleur de cette modification sont fonction de plusieurs paramètres (le type d'adjuvant, la durée de transport, le dosage en eau et la température).

Dans une certaine mesure il est possible de corriger ces modifications pour vérifier les exigences d'ouvrabilité souhaitées au moment du déchargement sur chantier.

Dans le cas de rajouts d'adjuvant dans le camion, il est recommandé de respecter impérativement le temps de malaxage minimal recommandé pour assurer la dispersion de l'adjuvant et sa répartition homogène dans l'ensemble du chargement de béton. En revanche tout ajout d'eau est à proscrire. [17]

I.14. Mise en place des BAP

selon NF EN 206/CN. L'Article 8.4.2.2 – Béton auto-plaçant (fascicule 65)

Lors de la livraison, un brassage du béton à grande vitesse est effectué pendant une minute au moins avant le début du déchargement. Il est réalisé une inspection visuelle à chaque charge livrée et une mesure d'étalement au minimum sur la première charge de la journée de bétonnage et systématiquement en cas de doute. Il convient de limiter à une longueur maximale de 10 m le cheminement horizontal dans les coffrages. De même, la hauteur de chute libre est limitée à 5 m.

Par rapport au béton vibré la mise en place du béton auto-plaçant est grandement facilitée, elle peut être réalisée par une seule personne et selon trois méthodes différentes :

- La première méthode est celle utilisée pour les bétons ordinaires vibrés, la mise en place se fait à l'aide d'une goulotte. Pour limiter le phénomène de ségrégation.
- La deuxième méthode consiste à utiliser un tube plongeur immergé dans le béton frais, dans la partie inférieure du coffrage.
- La mise en place des BAP peut se faire par pompage, par cette troisième méthode il y a réduction du bullage et obtention de parements lisses.

Pour réussir les ouvrages en béton auto-plaçant il est capital d'appliquer scrupuleusement les recommandations de fabrication, de transport et de mise en œuvre. [17]

Partie 2 : Partie expérimentale

Chapitre II: Caractérisation des matériaux utilisés.

II. Caractérisation des matériaux

II.1 Introduction

La formulation d'un BAP requiert une étude précise notamment dans le choix des constituants, et l'optimisation de la teneur en ajout chimique et de la quantité d'eau.

L'étape de formulation consiste à choisir une proportion optimale et bien précise des différents constituants dans le but d'obtenir les meilleures caractéristiques du béton [8].

Dans ce qui suit sont décrits les différents constituants entrant dans la composition d'un béton courant « vibré » et d'un béton auto-plaçant (granulats, ciment, additions minérales, adjuvants et eau).

Les constituants de base d'un béton ordinaire (ou courant) sont le ciment, l'eau et les granulats. Les bétons auto-plaçants sont obtenus par ajouts d'adjuvants et d'additions minérales.

Avant d'entamer une formulation, il convient de connaître les caractéristiques des matériaux utilisés à cet effet par le biais d'essais normalisés au laboratoire.

II.2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés (granulats, ciment, eau) sont locaux et naturels, et pour les additions (marbre, brique, verre, béton) ces déchets des constructions, les sable de dune sont locaux et naturels.

II.2.1 Ciment

Le ciment utilisé pour notre étude est un ciment de type **NA442 CEM II /B-L42,5N** provenant de LAFARGE de Msila.

Les différentes caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques du ciment utilisé sont sur la fiche technique (**Annexe I**) élaborée par le producteur au niveau d'un laboratoire spécialisé conformément aux normes **NA 442** et **EN 197-1**. [32]. [33]

Tableau II.1 : Quelques caractéristiques de ciment

Analyse chimiques	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO ₃) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures (NA5042) (%)	0.02-0.05

Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3700-5200
Retrait à 28 jours (μ m)	<1000
Expansion (mm)	
Temps de prise à 20 ° (NA231)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50
Resistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	
28 jours (MPa)	
Composition minéralogique du clinker	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

II.2.2. Granulats

Sont utilisés dans cette étude des granulats sont identification comme de suite :

- Gravier 3/8 et Gravier 8/16 : concassés provenant d'une carrière (Haoud El Hamra située entre Ouargla et Hassi Messaoud).
- Sable 0/5: provenant d'une carrière (DJAMAA située au niveau RN 123 reliant entre El Oued et Djamaa).

II.2.2.1. Essais sur granulats

II.2.2.1.1. Echantillonnage (NF P 18-553) [34]

Son but est de prélever une quantité représentative de la nature, de l'état et, le cas échéant, des conditions d'utilisation des granulats par quartage ou à l'ai de d'un échantillonneur pour les essais prévus.

II.2.2.1.2. Analyse granulométrique (EN 933-1 et EN 933-2) [35].[36]

Elle consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant l'échantillon en utilisant des tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis .

La courbe granulaire est importante car elle apporte les renseignements sur les limites des granulats, la proportion d'éléments fins ainsi que la continuité de la granularité. Plus une courbe est régulière plus le squelette granulaire formé est compact (meilleure compacité du squelette du béton). Par ailleurs, la courbe granulaire a aussi un effet sur l'ouvrabilité du béton. Sur les figures II.2, II.3, II.4 sont représentées les courbes granulaires (gravillons 8/16, gravillons 3/8 et Sable 0/5).



Figure II.1 : Echantillons de gravier 8/16 et de gravier 3/8 et sable 0/5

✓ Les résultats de l'essai pour les gravier 8/16:

Tableau II.2 : analyse granulométrie de gravier 8/16

Nature	Gravier 8/16			
Provenance	Carrière de Haoud El Hamra Hassi Messaoud			
Date d’analyse	19-02-2024			
Caractérisation faite selon EN 933-1				
Analyse granulométrique				
Poids de l’échantillon : 5000g				
Ouverture des tamis (mm)	Poids des refus partiel (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisat cumulés (%)
16	0	0	0	100
12.5	2825	2825	56.5	43.5
10	1260	4085	81.7	18.3
8	800	4885	97.7	2.3
6.3	100	4985	99.7	0.3
5	10	4995	99.9	0.1

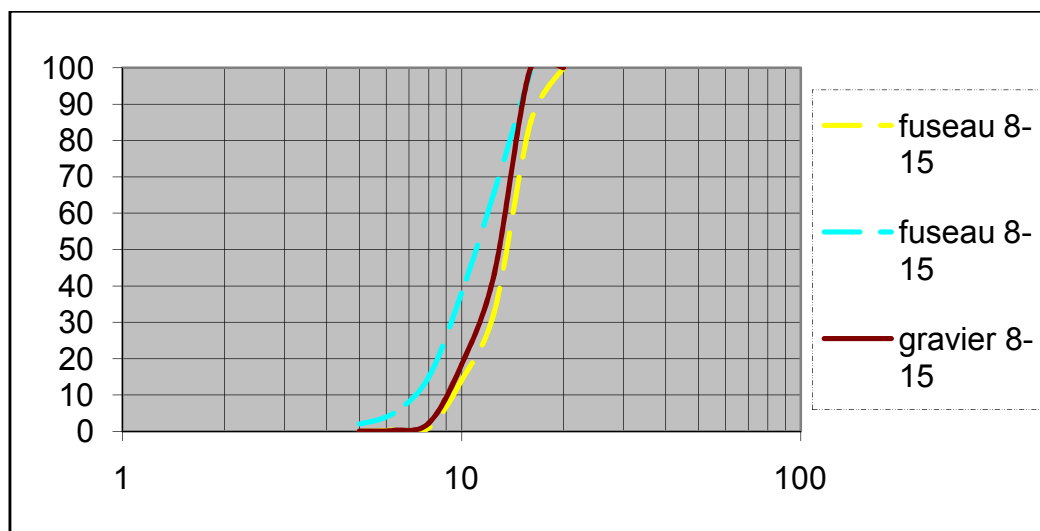


Figure II.2 : Courbe Analyse granulométrique de gravier 8/16

En conclusion, Après avoir tracé la courbe granulaire du gravier 8/16 , nous avons remarqué qu'un grand pourcentage de la courbe se situe à l'intérieure du fuseau.

✓ Les résultats de l'essai pour les gravier 3/8 :

Tableau II.3 : analyse granulométrie de gravier 3/8

Nature	Gravier 3/8			
Provenance	Carrière de Haoud El Hamra Hassi Messaoud			
Date d’analyse	19-02-2024			
Caractérisation faite selon EN 933-1				
Analyse granulométrique				
Poids de l’échantillon : 3000g				
Ouverture des tamis (mm)	Poids des refus partiel (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisat cumulés (%)
10	00	00	00	100
8	125	125	4.16	95.83
6.3	995	1120	37.33	62.66
5	795	1915	63.83	36.16
4	750	2665	88.83	11.16
2.5	65	2730	91	9
2	250.2	2980.2	99.34	0.66
1	15	2995.2	99.84	0.16

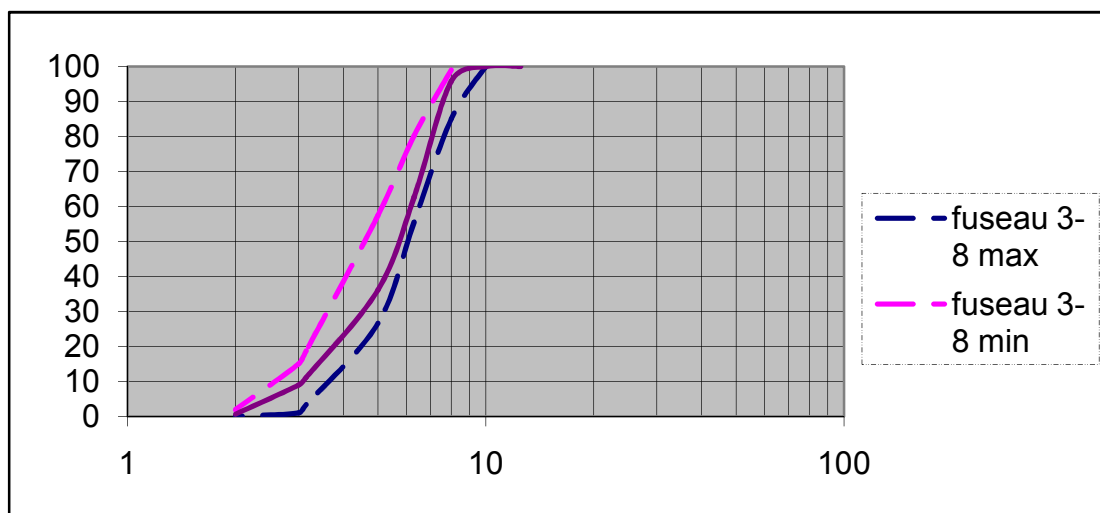


Figure II.3 : Courbe Analyse granulométrique de gravier 3/8

En conclusion, Après avoir tracé la courbe granulaire du gravier 3/8 , nous avons remarqué que la courbe se situe à l'intérieure du fuseau.

✓ résultats de l'essai pour les sables 0/5 :

Tableau II.4 : analyse granulométrie de sable 0/5

Nature	Sable 0/5			
Provenance	Carrière de Djamaa			
Date d’analyse	19-02-2024			
Caractérisation faite selon EN 933-1				
Analyse granulométrique				
Poids de l’échantillon : 2000g				
Ouverture des tamis (mm)	Poids des refus partiel (g)	Poids des refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisé cumulés (%)
5	8	8	0.4	99.6
4	10	18	0.9	99.1
2.5	30	48	2.4	97.6
2	13	61	3.05	96.95
1.25	90	151	7.55	92.45
1	84.4	235.4	11.77	88.23
0.63	317.6	553	27.65	72.35
0.315	960	1513	75.65	24.35
0.16	373	1886	94.3	5.7
0.08	99	1985	99.25	0.75

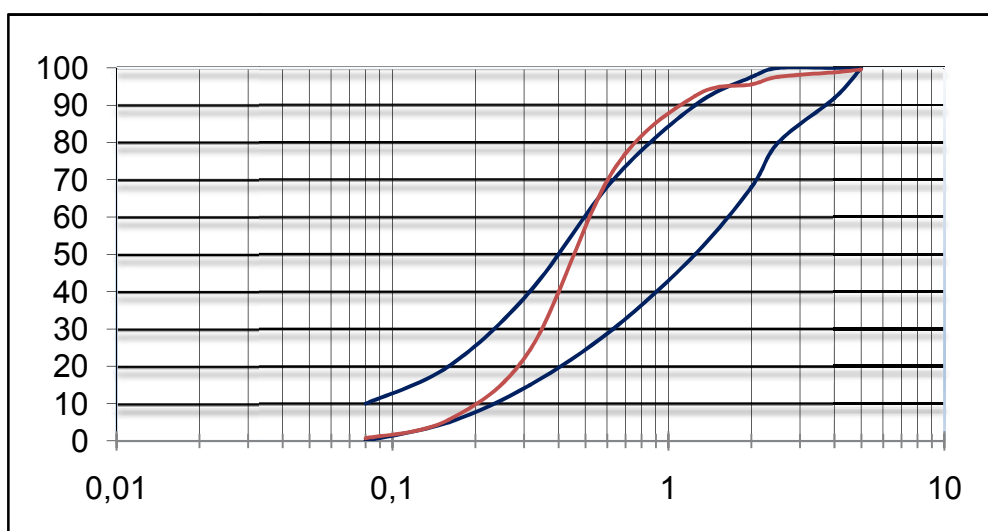


Figure II.4 : Courbe Analyse granulométrique de sable 0/5

En conclusion, Après avoir tracé la courbe granulaire du sable 0/5 , nous avons remarqué que 73% se trouvent à l'intérieure du fuseau et 27% à l'extérieure du fuseau , et caractérisé par une granulométrie étalée

II.2.2.1.3. Module de finesse du sable

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui-ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16. Ce paramètre est en partie culier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons.

La valeur du module de finesse dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Les résultats sont indiqués dans le tableau II.5 suivant:

Tableau II.5 : Les normes soviétiques spécifient le module de finesse des sables

Granulats	Sable (0/5)	Specifications
Module de finesse M_f	2,08	$M_f > 2,5$ sable gros
		$2 < M_f < 2,5$ sable moyen
		$1,5 < M_f < 2$ sable fin
		$1 < M_f < 1,5$ sable très fin

En conclusion, le sable est moyen.

II.2.2.1.4. Equivalent de sable (NF P18-598) [37]

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l'E.S. exprime le pourcentage de fines contenues dans le sable.

L'absence de fines ne permet pas d'obtenir un béton compact.

L'excès de fines est défavorable dans la mesure où il augmente la demande en eau, donc le rapport E/C donc une faible valeur de la résistance.

L'essai a donné les résultats présentés dans le tableau II.6.

Tableau II.6 : valeur de l'équivalent de sable

Granulats	Sable (0/5)	specification
Equivalent de sable visuel (ESV) (%)	82.20	70 à 80 pour un sable roulé
Equivalent de sable sous le poids d'un piston(ES) (%)	74.15	> 65 pour un sable concassé

Donc le sable est propre.

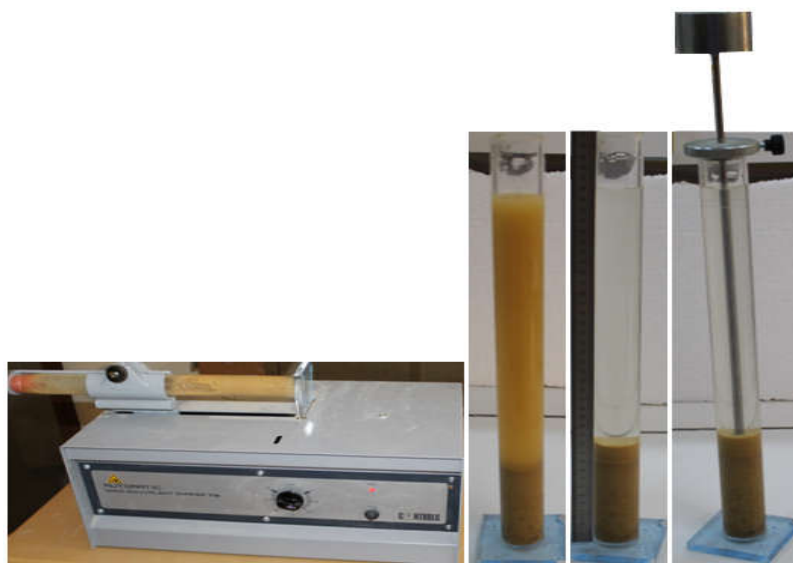


Figure II.5 : Essai Equivalent de sable

II.2.3. L'eau de gâchage

Nous avons utilisée pour le gâchage de notre béton l'eau de robinet disponible au niveau de notre université, d'où ces caractéristique physico-chimiques sont les suivantes :

Tableau II.7 : Composition chimique de l'eau de gâchage.

Ca (mg/l)	Mg(mg/l)	K(mg/l)	Na(mg/l)	Cl(mg/l)	CD μscm	No ₃ (mg/l)	So ₄ (mg/l)	Hco(mg/l)	PH(mg/l)	Salinité (mg/l)
252.504	89.92	35	460	914.647	4250	23.786	765.240	134.20	7.64	2700

II.2.4. Adjuvant (Superplastifiants)

Le Superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent TEMPO -12 a été fourni par les produits Sika® Visco Crète® TEMPO-12. Il permet d'obtenir des bétons et mortiers de grande qualité en termes de résistance et de fluidité. En plus de sa fonction principale de Superplastifiant, il diminue considérablement la teneur en eau du béton Voir la fiche technique en **(annexe 2)** pour plus d'indications sur ce produit.



Figure II.6 : Le Superplastifiant TEMPO-12.

Tableau II.8 : Quelques caractéristiques de TEMPO-12.

Caractéristique	Forme	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Le dosage recommandé
Résultats	liquide	brun clair à foncé	$4,5 \pm 1,0$	$1,06 \pm 0,01$	$\leq 0,1 \%$	0,5% à 2%

II.2.5. Ajout minéral

Les quatre types d'additions récupérées de déchets de construction au cours de cette étude plus sable de dune sont:

II.2.5.1. Les déchets de brique

Ces déchets proviennent de l'atelier de construction . Ils ont été concassés manuellement, puis broyés jusqu'à la fraction granulaire inférieure à $80\mu\text{m}$.

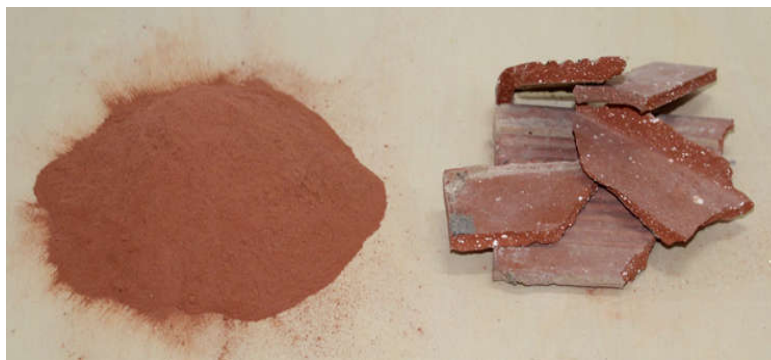


Figure II.7 : déchets de brique

Dans cette étude, nous avons réalisé une analyse par diffraction des rayons X sur les additifs de BAP sous forme de poudre afin de déterminer leur structure cristalline. La figure suivante illustre le diagramme résultant de l'analyse DRX de l'échantillon de poudre de brique.

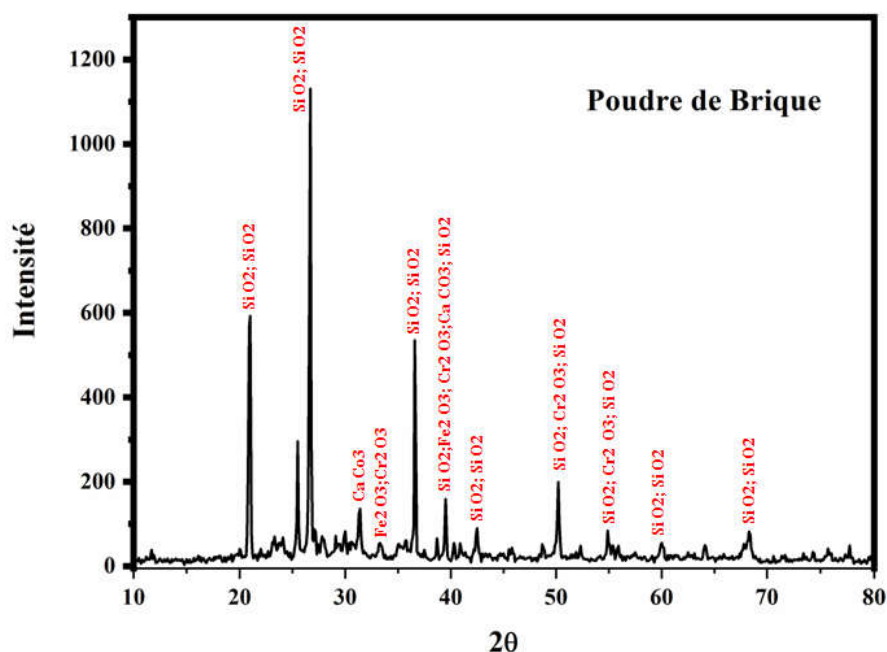


Figure II.8 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Brique

Après comparaison et analyse du diagramme ci-dessus, nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.9 : Composition chimique du déchet de brique broyé.

Nom du composé	Formule chimique	Score
Oxyde de silicium	Si O2	61
Phosphore de potassium	K3 P O4	36
Sulfate de calcium et de dysprosium	Ca Dy0.2 SO4	26

Tableau II.10 : Quelques caractéristiques de déchet de brique broyé.

Caractéristique	Forme	Couleur	Densité absolue	Densité apparent	Le dosage recommandé
Résultats	poudre	Marron	2.59	1.104	25%

II.2.5.2. Les déchets de marbre

Ces déchets proviennent de l'atelier de construction . Ils ont été concassés manuellement, puis broyés jusqu'à la fraction granulaire inférieure à 80 μ m.



Figure II.9 : Déchets de marbre.

La figure suivante illustre le diagramme résultant de l'analyse DRX de l'échantillon de déchets de marbre broyés.

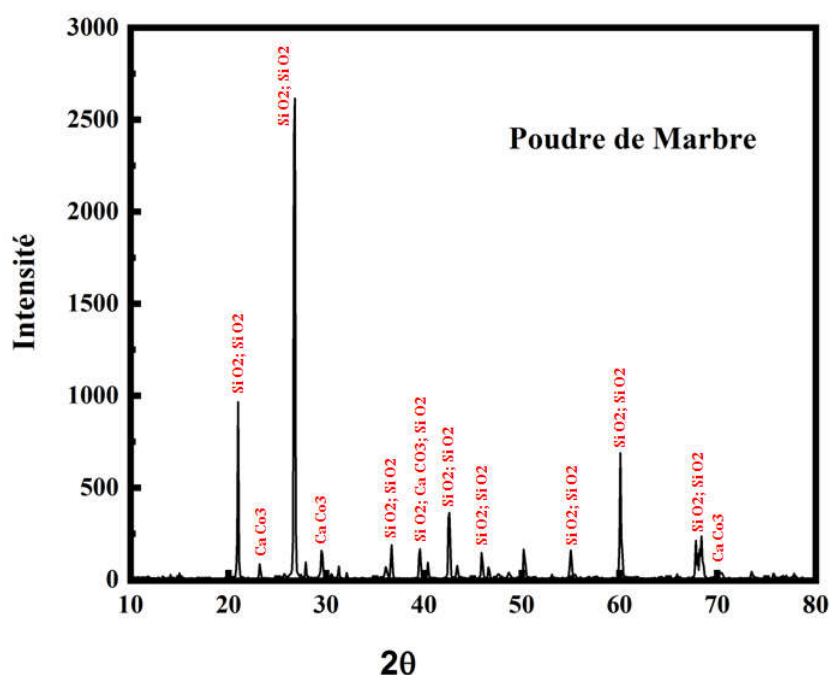


Figure II.10 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Marbre

Après comparaison et analyse du diagramme ci-dessus, nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.11 : Composition chimique du déchet de marbre broyé.

Nom du composé	Formule chimique	Score
Carbonate de calcium	Ca (C O ₃)	55
Oxyde de calcium	Ca O	19

Tableau II.12 : Quelques caractéristiques de déchet de marbre broyé.

Caractéristique	Forme	Couleur	Densité absolue	Densité apparent	Le dosagerecommandé
Résultats	poudre	blanche	2.41	1.288	40%

II.2.5.3. Les déchets de verre

Ces déchets proviennent de l'atelier de construction . Ils ont été concassés manuellement , puis broyés jusqu'à la fraction granulaire inférieure à 80µm.



Figure II.11 : Déchets de verre.

La figure suivante illustre le diagramme résultant de l'analyse DRX de l'échantillon de déchets de verre broyés en poudre.

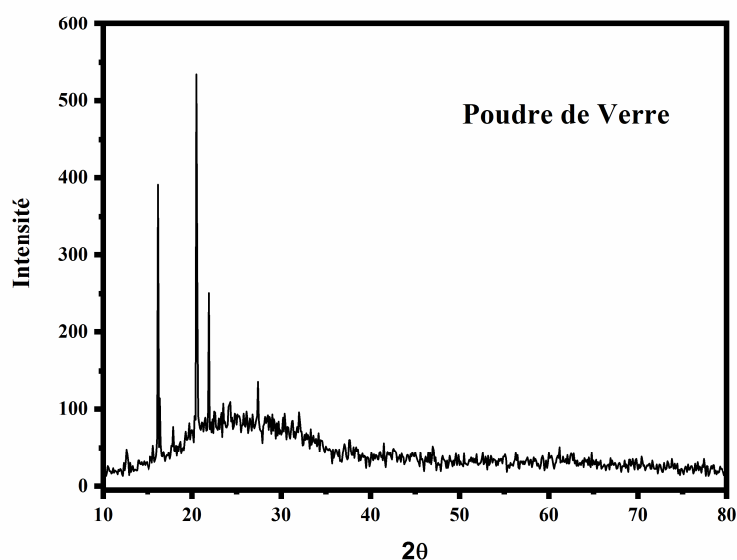


Figure II.12 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Verre

Après comparaison et analyse du diagramme ci-dessus, nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.13 : Composition chimique du déchet de verre broyé.

Nom du composé	Formule chimique	Score
Sodium	Na	58
Oxyde de silicium	Si O ₂	38

Tableau II.14 : Quelques caractéristiques de déchet de verre broyé.

Caractéristique	Forme	Couleur	Densité absolue	Densité apparent	Le dosage recommander
Résultats	poudre	Blanc	2.295	1.112	40%

II.2.5.4. Les déchets de béton

Ces déchets proviennent de l'atelier de construction. Ils ont été concassés manuellement, puis broyés jusqu'à la fraction granulaire inférieure à 80µm.



Figure II.13 : Déchets de béton.

La figure suivante illustre le diagramme résultant de l'analyse DRX de l'échantillon de déchets de béton broyés en poudre.

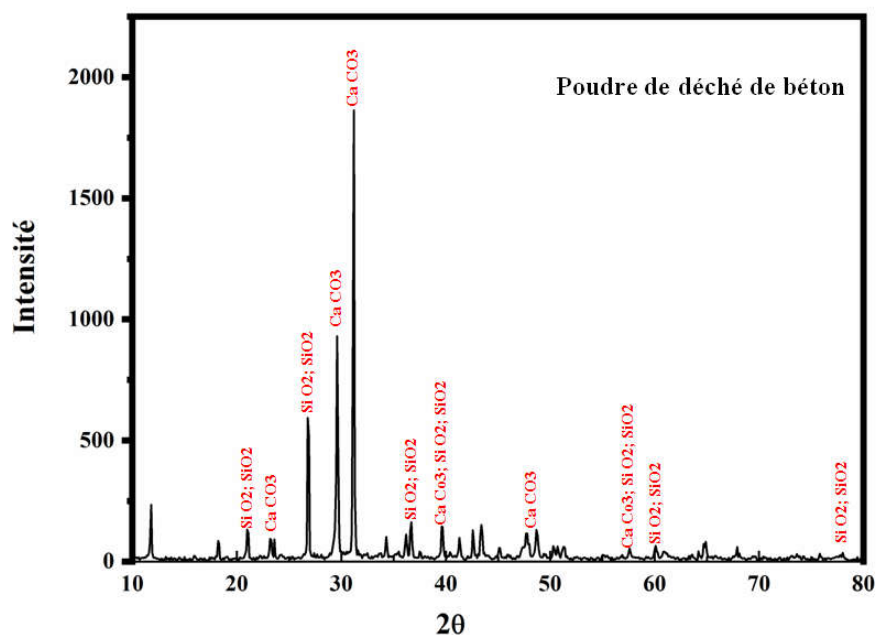


Figure II.14 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Déché de Béton

Après comparaison et analyse du diagramme ci-dessus, nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.15 : Composition chimique du déchet de béton broyé.

Nom du composé	Formule chimique	Score
Carbonate de calcium	Ca (C O3)	45
Oxyde de calcium	Si O2	41
Carbonate de calcium et de magnésium	Ca Mg (C O3)2	34

Tableau II.16 : Quelques caractéristiques de déchet de béton broyé.

Caractéristique	Forme	Couleur	Densité absolue	Densité apparent	Le dosagerecommandé
Résultats	poudre	Gris	2.641	1.264	40%

II.2.5.5. Le sable des dunes

la zone d'el Oued est riche en sable de dune. Ils ont été broyés manuellement jusqu'à la fraction granulaire inférieure à 80µm.

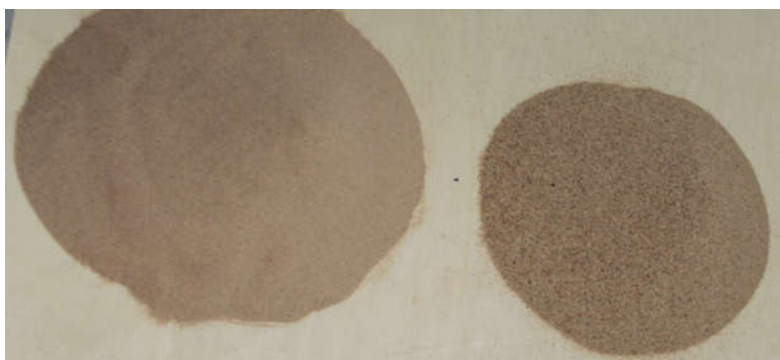


Figure II.15 : sable des dunes.

La figure suivante illustre le diagramme résultant de l'analyse DRX de l'échantillon sable des dunes broyés en poudre.

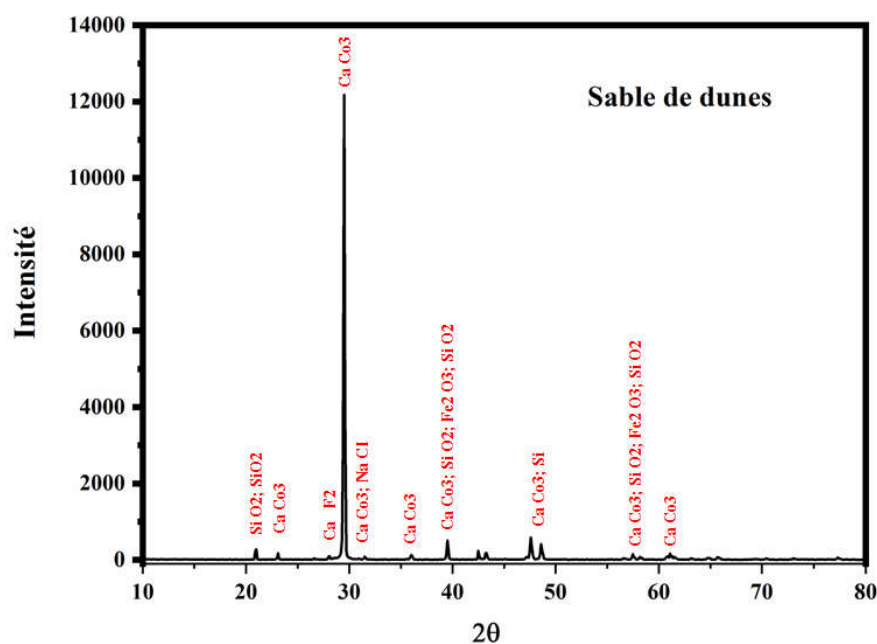


Figure II.16 : Diagramme d'analyse de (DRX) sur Poudre de Sable des dunes

Après comparaison et analyse du diagramme ci-dessus, nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.17 : Composition chimique de sable de dune broyé.

Nom du composé	Formule chimique	Score
Oxyde de calcium	Si O2	70
Carbonate de calcium	Ca (C O3)	36

Tableau II.18 : Quelques caractéristiques de sable de dune broyé.

Caractéristique	Forme	Couleur	Densité absolue	Densité apparent	Le dosage recommandé
Résultats	poudre	Beige	2.37	1.44	25%

- **Masse volumique apparente et absolue (NF P 18-554 et NF P 18-555) [38].[39]**

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. le volume absolu ne prend pas en considération les vides inclus et le volume apparent fait intervenir les vides intra et inter-granulaires. Les résultats sont indiqués dans le tableau II.19.

Tableau II.19 : Masse volumique apparente et absolue des matériaux utilisées

Granulats	Sable (0/5)	Gravier (3/8)	Gravier (8 /16)	Brique	Marbre	Verre	Béton	Sable de dune
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.44	2.58	2.63	2.59	2.41	2.29	2.64	2.37
Masse volumique apparente (g/ cm ³)	1.60	1.33	1.32	1.10	1.28	1.11	1.26	1.44



Figure II.17 : Exemple mesure la masse volumique absolue

II. 3. Conclusion

Nous concluons cet chapitre dans les caractéristiques des matériaux utilisés :

Le ciment utilisé est le NA442 CEM II / B-L42,5 N.

Le Superplastifiant utilisé Pour BAP TEMPO -12 haut réducteur d'eau polyvalent a été fourni par les produits Sika® Visco Crète® TEMPO-12.

Les mélanges ont été réalisés par les mêmes types de gravier (3/8) et (8/16) provenant de la carrière (Haoud El Hamra située entre Ouargla et Hassi Messaoud).

Les mélanges ont été réalisés par les mêmes types de sable (0/5) provenant de la carrière (DJAMAA située au niveau RN 123 reliant entre El Oued et Djamaa), le sable inscrit dans le fuseau granulaire sauf petit partie a l'extérieur , qui se caractérise par une granulométrie étalée.

Pour notre étude, L'utilisation donc de ces granulats présentant de bonnes caractéristiques permettra l'obtention de bétons de qualité, satisfaisant les critères de maniabilité, d'aspect des parements, de résistances et de durabilité.

Partie 2: Partie expérimentale

Chapitre III: Elaboration des bétons.

III. Elaboration des bétons

III.1. Formulation du béton ordinaire

Une méthode pratique et simplifiée a été utilisée pour l'élaboration du béton ordinaire (vibré), celle de « DREUX GORISSE ». Elle permet de définir de façon simple et rapide une formule de composition adaptée au béton étudié.

Le mode opératoire est le suivant :

- **Critère de résistance:**

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

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

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

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

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

D'où la résistance moyenne visée pour le béton témoin à 28 jours :

$$\sigma'_{28j} = 1,15 \times 25$$

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

- **Dosage en ciment et en eau :**

$$\frac{c}{E} = \frac{\sigma'_{28} + 0.5 \times G \times \sigma'_{28}}{G \times \sigma'_{28}} = \frac{\sigma'_{28}}{G \times \sigma'_{28}} + 0.5$$

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

σ'_{28j} : Classe vraie de ciment en MPa.

G : Coefficient granulaire.

C : Dosage en ciment (Kg de ciment/m³ de béton).

E : Dosage en eau (Kg d'eau/m³ de béton ou litre d'eau/m³ de béton).

Tableau III.1 : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G.

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins (D < 16 mm)	Moyens (20 < D < 40 mm)	Gros (D > 63 mm)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Les granulats utilisés ont un diamètre de 16 mm et sont de bonne qualité, d'où un coefficient granulaire **G=0,45**.

Le ciment retenu est un NA442 CEM II / B-L42,5 N.

Donc Le rapport $\frac{c}{E} = \frac{28.75}{0.45 \times 42.5} + 0.5 = 2.00$

- **Dosage en ciment par de béton :**

Connaissant le rapport $\frac{c}{E}$ et l'affaissement au cône d'ABRAMS souhaité A, on en déduit, grâce à l'abaque (**annexe III**) en fonction de A, le dosage en ciment correspond :

$\left. \begin{array}{l} \frac{c}{E} = 2.00 \\ A = 8.5 \text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{L'abaque donne la valeur du dosage en ciment:}$
 $C = 400 \text{ Kg}$ Voir la (**annexe III**)

$\left. \begin{array}{l} \frac{c}{E} = 2.00 \\ C = 400 \text{ Kg} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{On déduit la valeur de E qui est:}$
 $E = 200 \text{ kg/m}^3$

- **Tracé de la courbe granulaire de référence :**

Cette courbe correspondant au mélange des granulats sable et graviers.

Sur le même graphe d'analyse granulométrique (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis), déjà obtenu (voir figure III.1), on trace une courbe granulaire de référence OAB avec:

Le point **O** est repéré par les coordonnées : [0 ; 0].

Le point **B** est repéré par les coordonnées : [D ; 100], (D : le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure **A** correspond aux coordonnées suivantes:

En abscisse :

Si $D \leq 20 \text{ mm}$, l'abscisse est a $D/2$.

Si $D > 20 \text{ mm}$, l'abscisse est située au milieu du segment [5mm ; D] .

Le plus gros granulat est de diamètre $D = 16 \text{ mm}$, donc le point de brisure a pour abscisse : $D/2 = 8 \text{ mm}$.

En ordonnée:

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_S + K_P$$

Avec:

K : coefficient qui dépend du dosage en ciment, de l'intensité de vibration, de la forme des granulats roulés ou concassés.

Dans cette étude, le dosage en ciment vaut 400Kg/m^3 , la vibration est normale les granulats sont concassés, d'où le coefficient $K=0$ voire (annexe III)

K_S : Coefficient tenant compte du module de finesse du sable

Le module de finesse du sable vaut 2,08, la valeur de K_S est calculée par la formule suivant:

$$K_S = 6M_f - 15 = 6 \times 2,08 - 15$$

$$K_S = -2,52$$

K_P : Coefficient de pompabilité, on prend en générale $+5\%$ à 10% .

Le béton étudié n'est pas de qualité pompable d'où $K_P = 0$.

Donc :

$$Y = 50 - \sqrt{16} + 0 - 2,52 + 0 = 43,48$$

Ainsi, les coordonnées du point de brisure A sont : $[8 ; 43,48]$.

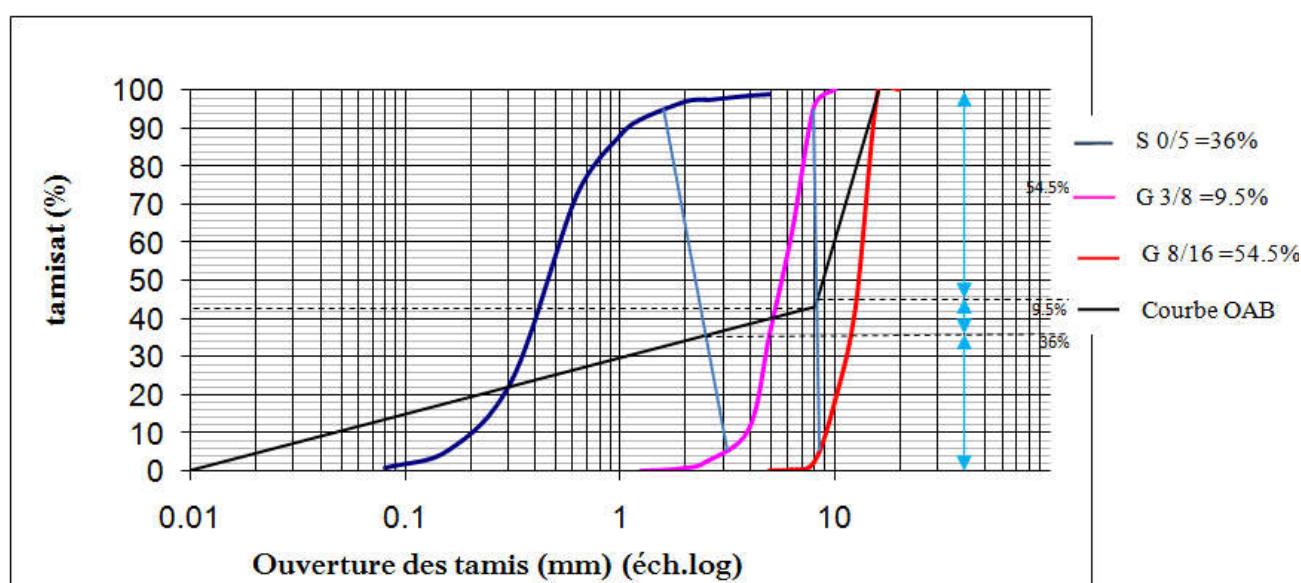


Figure III.1 : Courbes granulaires des trois types des granulats avec ligne de partage.

• Les lignes de partage

Les droites jointant la point à 95% (tamisât) d'un granulat au point à 5% du granulat suivant (et ainsi de suite) sont appelées lignes de partage. Les points d'intersection des lignes de partage successives donnent en cumulés les pourcentages correspondant aux différents granulats successifs. Il s'agit de pourcentages en volumes absolus.

Sur la courbe granulométrique, les points d'intersections entre les lignes de partage et la courbe de référence **OAB** donnent les pourcentages des granulats suivants:

Sable (0/3) : 36%

Gravier (3/8) : 9.5%

Gravier (8/16) : 54.5%

- **Correction coefficient de compacité γ voire (annexe III)**

Donc : sable et gravier concassés $\Longrightarrow \gamma = 0,825 - 0,03 = 0,795$

$$V = 1000 \times \gamma = 1000 \times 0,795$$

$$V = 795 \text{ l}$$

- **Dosage des matériaux**

Les dosages en volumes de chacun des constituants du béton sont donnés par les relations ci dessous:

- **volume absolu du ciment**

$$V_c = \frac{mc}{\rho_c} = \frac{400}{3.1} = 129.03 \text{ l}$$

$$V_c = 129.03 \text{ l}$$

- **volume absolu des granulats**

$$V_{gt} = V - V_c = 795 - 129.03$$

$$V_{gt} = 665.97 \text{ l}$$

- **volume absolu du sable**

$$V_s = V_{gt} \times \% s = 665.97 \times 36\% = 239.74$$

$$V_s = 239.74 \text{ l}$$

- **volume absolu du gravier 8/16**

$$V_{g8/16} = V_{gt} \times \% g8/16 = 665.97 \times 54.5\% = 362.95$$

$$V_{g8/16} = 362.95 \text{ l}$$

- **volume absolu du gravier 3/8**

$$V_{g3/8} = V_{gt} \times \% g3/8 = 665.97 \times 9.5\% = 63.26$$

$$V_{g3/8} = 63.26 \text{ l}$$

- **Dosage des matériaux en masse pour 1 m³ de béton sont donnés par :**

- **masse du sable:**

$$M_s = V_s \times \rho_s = 239.74 \times 2.44 = 584.96$$

$$M_s = 584.96 \text{ kg}$$

- **masse du gravier 8/16**

$$M_{g8/16} = V_{g8/16} \times \rho_{g8/16} = 362.95 \times 2.63 = 954.55$$

$$M_{g8/16} = 954.55 \text{ kg}$$

▪ **masse du gravier 3/8**

$$Mg_{3/8} = Vg_{3/8} \times \rho_{g_{3/8}} = 63.26 \times 2.58 = 163.21$$

$$Mg_{3/8} = 163.21 kg$$

Le tableau III.2 suivant résume le calcul des proportions de chaque constituant pour le béton ordinaire (témoin).

Tableau III.2 : Composition volumique et pondéral du béton vibré pour 1m³.

Les Composants	Sable 0/5	Gravier 3/8	Gravier 8/16	Eau	Ciment	E/C
Volume (l/m ³)	239,74	63,26	362,95	200	129,03	1.550
Poids (Kg/m ³)	584,96	163,21	954,55	200	400	0,5

III.2. Formulation des bétons auto-plaçant

La plupart des formules de BAP sont conçues actuellement de manière empirique. La méthode de Dreux-Gorisse n'est pas adaptée car elle ne prend en compte ni les adjuvants ni les additions, alors que ce sont des composants essentiels d'un BAP. La formulation est donc basée sur l'expérience acquise ces dernières années.

Certains ordres de grandeurs pour les proportions des constituants sont maintenant connus et utilisés:

- Un rapport G/S = 1,2
- Un rapport E/C = 0,5.
- Un dosage en ciment de 400kg/m³.
- Le volume d'air occlus (A) est de l'ordre de 5%.
- Un pourcentage en ajouts (Superplastifiant, poudre de marbre, déchet de brique, déchet de verre, déchet de béton et sable de dune) déterminé par tâtonnement.

Pour pouvoir comparer les performances des différents bétons indépendamment de l'action du ciment, on a fixé le dosage de ce dernier à 400 kg/m³, ainsi le rapport E/C à 0,5 pour tous les bétons testés.

Bétons élaborés :

BO Béton ordinaire (témoin).

- BAP1 avec ajout de la poudre de brique (15%C) et un dosage en super plastifiant de 1,1 %C.
- BAP2 avec ajout de la poudre de marbre (40%C) et un dosage en super plastifiant de 0,68%C.
- BAP3 avec ajout de la poudre de verre (40%C) et un dosage en super plastifiant de 1,1%C.
- BAP4 avec ajout de la poudre de béton (40%C) et un dosage en super plastifiant de 0,9%C.
- BAP5 avec ajout de sable de dune (25%C) et un dosage en super plastifiant de 0,67%C.

III.2.1. Formulation du béton auto-plaçant (BAP1) avec la poudre de brique

Le dosage en poudre de brique est fixé à 15 % C, avec $C = 400 \text{ kg/m}^3 = (400/3,1) = 129.03 \text{ l/m}^3$

$P_{\text{brique}} = 15\% \times 129.03 = 19.35 \text{ l/m}^3$.

Le dosage en super plastifiant est de 1.1 % de C.

Gravier (G) + Sable (S) + Ciment (C) + Eau (E) + Air (A) + ajout (brique) = 1000 l

Avec:

$A = 5 \text{ l/m}^3$.

$E/C = 0,5$ avec $C = 400 \text{ kg/m}^3 = (400/3,1) = 129.03 \text{ l/m}^3$.

On a donc $E = 200 \text{ l/m}^3$.

On obtient alors $G + S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 19.35$

$G + S = 646.62 \text{ l/m}^3$

Puisque'on a fixé $G/S = 1,2$

- $G + S = 646.62 \text{ l/m}^3$

- $G/S = 1,2$

donc $S = 646.62 / 2.2 = 293.91 \text{ l/m}^3$

$G + 292.18 = 646.62 = 352.71 \text{ l/m}^3$.

On utilise 1/3 de gravier $(3/8) = 117.57 \text{ l/m}^3$.

2/3 de gravier $(8/16) = 235.14 \text{ l/m}^3$

Le dosage en Superplastifiant est de 1.1 % de C.

Le tableau III.3 suivant résume le calcul pour le BAP1.

Tableau III.3 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de brique.

Composants	Composants (l/m ³)	Densité absolue	Composants (kg/m ³)
Ciment	129.03	3.1	400
Poudre de brique	19.35	2.59	50.11
Sable (0/5)	293.91	2.44	717.14
Gravier (3/8)	117.57	2.58	303.33
Gravier (8/16)	235.14	2.63	618.41
Eau	200	1	200
Superplastifiant	4.15	1.06	4.39

III.2.2. Formulation du béton auto-plaçant (BAP2) avec la poudre de marbre

Dans 1m^3 de béton on a les constituants suivants:

Le dosage en poudre de marbre est fixé à 40 % C, avec $C = 400 \text{ kg/m}^3 = (400/3,1) = 129.03 \text{ l/m}^3$.

$$P_{\text{marbre}} = 40\% \times 129.03 = 51.61 \text{ l/m}^3.$$

$$\text{Gravier (G)} + \text{Sable (S)} + \text{Ciment (C)} + \text{Eau (E)} + \text{Air (A)} + \text{ajout (P}_{\text{marbre}}) = 1000$$

Avec:

$$A = 5 \text{ l/m}^3.$$

$$E/C = 0,5.$$

$$\text{On a donc } E = 200 \text{ l/m}^3.$$

$$\text{On obtient alors } G + S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 51.61$$

$$G + S = 614.36 \text{ l/m}^3$$

Puisque'on a fixé $G/S=1,2$

$$\circ \quad G + S = 614.36 \text{ l/m}^3$$

$$\circ \quad G/S=1,2$$

$$\text{dons } S = 614.36 / 2.2 = 279.25 \text{ l/m}^3$$

$$G + 279.25 = 614.36 \implies G = 335.11 \text{ l/m}^3.$$

$$\text{On utilise } 1/3 \text{ de gravier } (3/8) = 111.70 \text{ l/m}^3$$

$$2/3 \text{ de gravier } (8/16) = 223.4 \text{ l/m}^3$$

Le dosage en Superplastifiant est de 0.68 % de C.

Le tableau III.4 suivant résume le calcul pour le BAP 2.

Tableau III.4 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de marbre.

Composants	Composants (l/m^3)	Densité absolue	Composants (kg/m^3)
Ciment	129.03	3.1	400
Poudre de marbre	51.61	2.41	124.38
Sable (0/5)	279.25	2.44	681.37
Gravier (3/8)	111.70	2.58	288.18
Gravier (8/16)	223.4	2.63	587.54
Eau	200	1	200
Superplastifiant	2.56	1.06	2.71

III.2.3. Formulation du béton auto-plaçant (BAP3) avec la poudre de verre

Dans 1 m^3 de béton on a les constituants suivants:

Le dosage en poudre de verre est fixé à 40 % C, avec $C = 400 \text{ kg/m}^3 = (400/3,1) = 129.03 \text{ l/m}^3$

$P_{\text{verre}} = 40\% \times 129.03 = 51.61 \text{ l/m}^3$.

Gravier (G) + Sable (S) + Ciment (C) + Eau (E) + Air (A) + ajout (P_{verre}) = 1000l

Avec:

$A = 5 \text{ l/m}^3$.

$E/C = 0,5$.

On a donc $E = 200 \text{ l/m}^3$.

On obtient alors $G + S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 51.61$

$G + S = 614.36 \text{ l/m}^3$

Puisque'on a fixé $G/S = 1,2$

○ $G + S = 614.36 \text{ l/m}^3$

○ $G/S = 1,2$

donc $S = 614.36 / 2.2 = 279.25 \text{ l/m}^3$

$G + 279.25 = 614.36 \implies G = 335.11 \text{ l/m}^3$.

On utilise 1/3 de gravier $(3/8) = 111.70 \text{ l/m}^3$

2/3 de gravier $(8/16) = 223.4 \text{ l/m}^3$

Le dosage en Superplastifiant est de 1.1 % de C.

Le tableau III.5 suivant résume le calcul pour le BAP 3.

Tableau III.5 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de verre.

Composants	Composants (l/m^3)	Densité absolue	Composants (kg/m^3)
Ciment	129.03	3.1	400
Poudre de verre	51.61	2.29	118.18
Sable (0/5)	279.25	2.44	681.37
Gravier (3/8)	111.70	2.58	288.18
Gravier (8/16)	223.4	2.63	587.54
Eau	200	1	200
Superplastifiant	4.15	1.06	4.39

III.2.4. Formulation du béton auto-plaçant (BAP4) avec la poudre de béton

Dans 1m^3 de béton on a les constituants suivants:

Le dosage en poudre de béton est fixé à 40 % C , avec $C = 400 \text{ kg /m}^3 = (400/3,1) = 129.03 \text{ l/m}^3$.

$\text{Pbétón} = 40\% \times 129.03 = 51.61 \text{ l/m}^3$.

Gravier (G) + Sable (S) + Ciment (C) + Eau (E)+ Air (A) +ajout (Pbétón) = 1000 L

Avec:

$A = 5 \text{ l/m}^3$.

$E/C = 0,5$.

On a donc $E = 200 \text{ l/m}^3$.

On obtient alors $G + S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 51.61$

$G + S = 614.36 \text{ l/m}^3$

Puisque'on a fixé $G/S=1,2$

○ $G + S = 614.36 \text{ l/m}^3$

○ $G/S=1,2$

donc $S=614.36 /2.2 = 279.25 \text{ l/m}^3$

$G+279.25=614.36 \implies G = 335.11 \text{ l/m}^3$.

On utilise 1/3 de gravier $(3/8) = 111.70 \text{ l/m}^3$

2/3de gravier $(8/16) = 223.4 \text{ l/m}^3$

Le dosage en Superplastifiant est de 0.9 % de C.

Le tableau III.6 suivant résume le calcul pour le BAP 4.

Tableau III.6 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de poudre de béton.

Composants	Composants (l/m^3)	Densité absolue	Composants (kg/m^3)
Ciment	129.03	3.1	400
Poudre de béton	51.61	2.64	136.25
Sable (0/5)	279.25	2.44	681.37
Gravier (3/8)	111.70	2.58	288.18
Gravier (8/16)	223.4	2.63	587.54
Eau	200	1	200
Superplastifiant	3.39	1.06	3.59

III.2.5. Formulation du béton auto-plaçant (BAP5) avec sable de dune

Dans 1 m^3 de béton on a les constituants suivants:

Le dosage de sable de dune est fixé à 25 % C, avec $C = 400 \text{ kg/m}^3 = (400/3,1) = 129.03 \text{ l/m}^3$.

Sable de dune = $25\% \times 129.03 = 32.25 \text{ l/m}^3$.

Gravier (G) + Sable (S) + Ciment (C) + Eau (E) + Air (A) + ajout (Sable de dune) = 1000l

Avec:

$A = 5 \text{ l/m}^3$.

$E/C = 0,5$.

On a donc $E = 200 \text{ l/m}^3$.

On obtient alors $G + S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 32.25$

$G + S = 633.72 \text{ l/m}^3$

Puisque'on a fixé $G/S=1,2$

- $G + S = 633.72 \text{ l/m}^3$

- $G/S=1,2$

donc $S=633.72 / 2.2 = 288.05 \text{ l/m}^3$

$$G+288.05=633.72 \implies G = 345.67 \text{ l/m}^3.$$

On utilise $1/3$ de gravier $(3/8) = 115.22 \text{ l/m}^3$

$2/3$ de gravi er $(8/16) = 230.44 \text{ l/m}^3$

Le dosage en Superplastifiant est de 0.67 % de C.

Le tableau III.7 suivant résume le calcul pour le BAP 5.

Tableau III.7 : Composition du béton auto-plaçant avec ajout de sable de dune.

Composants	Composants (l/m^3)	Densité absolue	Composants (kg/m^3)
Ciment	129.03	3.1	400
Poudre de sable de dune	32.25	2.37	76.43
Sable (0/5)	288.05	2.44	702.84
Gravier (3/8)	115.22	2.58	297.26
Gravier (8/16)	230.44	2.63	606.05
Eau	200	1	200
Superplastifiant	2.52	1.06	2.67

Les compositions des différents bétons sont résumées dans le tableau ci dessous :

Tableau III.8 : Composition des différents bétons pour 1m³

Composants (kg/m ³)	BO	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5
Ciment	400	400	400	400	400	400
Sable (0/5)	584.96	717.14	681.37	681.37	681.37	702.84
Gravier (3/8)	163.21	303.33	288.18	288.18	288.18	297.26
Gravier (8/16)	954.55	618.41	587.54	587.54	587.54	606.05
Eau	200	200	200	200	200	200
Superplastifiant	/	4.39	2.71	4.39	3.59	2.67
brique	/	50.11	/	/	/	/
Marbre	/	/	124.38	/	/	/
Verre	/	/	/	118.18	/	/
Béton	/	/	/	/	136.25	/
Sable de dune	/	/	/	/	/	76.43

III. 3. Conclusion

La méthode utilisé dans cet travail est la méthode de "Dreux Gorisse" pour le béton ordinaire cette méthode est très simple et efficace elle se base par l'obtention d'une bonne compacité avec une ouvrabilité adéquate, Préalablement La résistance a la compression désirée pour le béton témoin à 28 jours est $\sigma_{28j} = 25 \text{ Mpa}$, après le calcul, on extrait du l'abaque la valeur du dosage en ciment $C=400 \text{ Kg/m}^3$.

A travers la courbes granulaires des trois granulats, avec les lignes de partage(Figure III.1), les pourcentages ont été extraits : (sable 0/5 = 36% , gravier 3/8 = 9.5% , gravier 8/16 = 54.5%), les poids et volumes des différents composants de la composition sont calculés.

La méthode de formulation du béton auto-plaçant, et la plus part des formules sont conçues actuellement de manière empirique, suivant les caractères à l'état frais on peut juger la formulation acceptable ou non, nous avons utilisé différents additifs (poudre de brique(15%C) et un dosage en superplastifiant de 1,1 %C, poudre de marbre (40%C) et un dosage en superplastifiant de 0,68%C, poudre de verre (40%C) et un dosage en superplastifiant de 1,1%C, poudre déchet de béton (40%C) et un dosage en superplastifiant de 0,9%C, sable de dune (25%C) et un dosage en super plastifiant de 0,67%C), on a fixé les données suivantes : (l'air $A = 5 \text{ l/m}^3$, rapport eau sur ciment $E/C = 0,5$,

rapport gravier sur sable $G/S=1,2$. Dans le quatrième chapitre on étudiera les résultats des essais effectués.

Partie 2 : Partie expérimentale

Chapitre IV: Essais sur bétons: résultats et interprétations

Chapitre IV : Essais sur bétons : résultats et interprétations.

IV.1. Introduction

Cette partie a , dans un premier temps, pour but de développer les étapes de formulation et de confection des différents bétons. Ensuite, de s'intéresser aux essais sur béton, permettant ainsi de caractériser leurs performances physiques et mécaniques et d'évaluer le comportement des BAP par rapport aux bétons traditionnels vibrés.

Pour cela on a choisi de faire varier quelques paramètres tels que la nature des fines (poudre de marbre, déchets de brique, déchets de béton , déchets de verre , sable de dune) pour un même type de matériau et un dosage en ciment constant. Le dosage en eau na pas été modifié lors de l'élaboration des BAP. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux d'un béton ordinaire élaboré avec les mêmes constituants et le même dosage en ciment. Les bétons ont été élaborés avec les mêmes granulats :

- Gravier concassé de classe : 3/8 et 8/16.
- Sable de classe : 0/5.
- Ciment type NA442 CEM II /B-L42,5N.
- Type de l'ajout minéral (déchet de marbre, déchet de brique , déchet de béton, déchet de verre et sable de dune).
- Le super plastifiant TEMPO-12, fourni par l'entreprise Sika® Visco Crète®. Variables de l'étude :

Dans ce cadre, ont été confectionnées :

- 90 éprouvettes cylindriques (11×22) cm² , soit 12 pour chaque type de béton, pour la mesure de la résistance à la compression simple à 7 jours , 14 jours, 28 jours, 45 jours, 60 jours.
- 90 éprouvettes prismatiques (7×7×28) , soit 12 pour chaque type de béton, pour l'essai de traction par flexion à 07 jours , 14 jours, 28 jours, 45 jours, 60 jours.
- 18 éprouvettes prismatiques (7×7×28) , soit 3 pour chaque type de béton, pour la mesure de la retrait à un jours , 02 jours, 03 jours, 07 jours, 14 jours, 28 jours.
- 18 éprouvettes cubiques (10×10×10) , soit 3 pour chaque type de béton, pour l'essai de absorption d'eau.
- 18 éprouvettes cubiques (15×15×15) , soit 3 pour chaque type de béton, pour l'essai de perméabilité.

IV.2. Confection des bétons

IV.2.1. Préparation de la gâchée

La préparation du béton auto-plaçant demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie. Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé (capacité de 130 litres selon la fiche technique)

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cubiques , cylindriques et prismatique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, sinon les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le Superplastifiant est ajouté à première moitié de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, ajouts [poudre de marbre ou poudre de brique ou poudre de béton ou poudre de verre ou sable de dune]) et les introduire dans le malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première moitié de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).
- Ajouter la deuxième moitié d'eau graduellement.
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- Remplir les éprouvettes sans vibration pour le béton auto-plaçant et les vibration normal pour le béton ordinaire.

IV.2.2. Conservation des éprouvettes

Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage pour un béton ordinaire ou pour un BAP, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h. Une fois démoulées, pour assurer un bon mûrissement du béton, les éprouvettes sont conservées à laboratoire universitaire.

IV.3. Essais sur béton frais

IV.3.1. Essais d'affaissement au cône d'Abrams (NF EN12350-2) [42]

Cet essai est habituellement effectué pour le béton vibré (ordinaire) dans le but de déterminer sa consistance par mesure de l'affaissement, c'est ce qui a été fait pour le béton témoin (figure IV.1,)



Figure IV.1 : Essais de l'affaissement au cône d'Abrams BO

Le résultats obtenus par cet essai présentés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : résultats de l'essai de l'affaissement au cône d'Abrams

Béton	Ordinaire
Affaissement (cm)	8.5

Tableau IV.2 : La norme NF EN 206 [5] classe l'affaissement du béton en cinq groupes [41]

Classe	Affaissement en (mm)	Propriété du béton frais	Utilisations
S1	10-40	Ferme, très secs et peu maniable	Fabrication de routes, fondations à armature légère
S2	50-90	Plastique, à humidité moyenne et à maniabilité moyenne	Béton armé normal placé avec vibration
S3	100-150	Très plastique, très humide et à maniabilité élevée	
S4	160-210	Fluide, très humide et à maniabilité élevée	
S5	≥ 220	Très fluide, très humide et à maniabilité élevée	

Commentaire sur les résultats:

L'affaissement obtenu est de classe S2 (béton plastique de 5 à 9cm d'après la norme NF EN 206 [5]).

IV.3.2. Essai de la boîte en L

L'essai de la boîte en L (figure IV.2) est effectué pour le béton auto-plaçant seulement. Il permet d'évaluer le risque de blocage et la capacité de remplissage du béton en milieu confiné.

La partie verticale de la boîte est remplie de béton, après soulèvement de la trappe en acier, on mesure le taux de remplissage qui est défini comme étant le rapport des hauteurs de béton dans les parties verticales. Pour un BAP, $H2/H1$ doit être supérieur à 0,8.



Figure IV.2 : Essai de la boîte en L

Les résultats des essais effectués sur les différents BAP sont présentés dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : essai de la boîte en L

Béton	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5
Taux de remplissage (H2/H1)	0.87	0.85	0.829	0.825	0.94

On constate que l'étalement horizontal était correct et que la capacité de remplissage requise pour le BAP a été atteinte, $H2/H1$ dépassant 0.8 dans tous les cas.

IV.3.3. Essai de stabilité au tamis

L'essai au tamis est utilisé pour caractériser la stabilité du béton, soit son caractère à résister à la ségrégation statique : descente des gros gravillons par l'effet de la gravité et remonté de la pâte qui est légère. (figure IV.3).



Figure IV.3 : Essai de stabilité au tamis

Les résultats des essais effectués sur les différents BAP sont présentés dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4 : essai de stabilité au tamis

Béton	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5
Pourcentage de laitance(Pen %)	23	17	13.6	6.7	15.4

D'après les résultats du test de stabilité au tamis pour déterminer la stabilité du béton 15 minutes après le malaxage, on note ce qui suit :

- BAP1 a montré une stabilité modérée en termes de résistance à la ségrégation statique de plus de 15 %.
- BAP2 et BAP5 obtiennent les scores les plus stables disponibles en termes de résistance à la ségrégation statique, à un peu plus de 15 %.
- BAP3 et BAP4 ont montré une bonne stabilité en matière de résistance à la ségrégation statique, avec un taux de stabilité inférieur à 15 %.

La résistance à ségrégation statique de BAP4, BAP3 et BAP5 est meilleure que celle de BAP2 et BAP1. Cela peut s'expliquer par une modification de la qualité et du dosage de l'additif, ainsi que de son état (poudre réactive ou non réactive).

Commentaire sur les résultats:

Ces résultats sont considérés comme les meilleurs si l'on prend en compte le degré d'accord avec le test précédent (Essai de la boîte en « L »), qui sert de première référence pour l'ajustement.

IV.3.4. Essai J-Ring

Le test J-Ring permet d'évaluer l'aptitude à l'écoulement du béton auto-plaçant aux travers des zones confinées comprenant les espaces entre les armatures sans aucune ségrégation ou aucun blocage. Il est utilisé conjointement avec l'essai d'étalement au cône d'Abrams. L'anneau (figure IV.4), et le cône d'Abrams sont centrés sur la plaque, avant de soulever le cône et avant d'observer l'écoulement du béton à travers les armatures

Les résultats des essais effectués sur les différents BAP sont présentés dans le tableau IV.5.

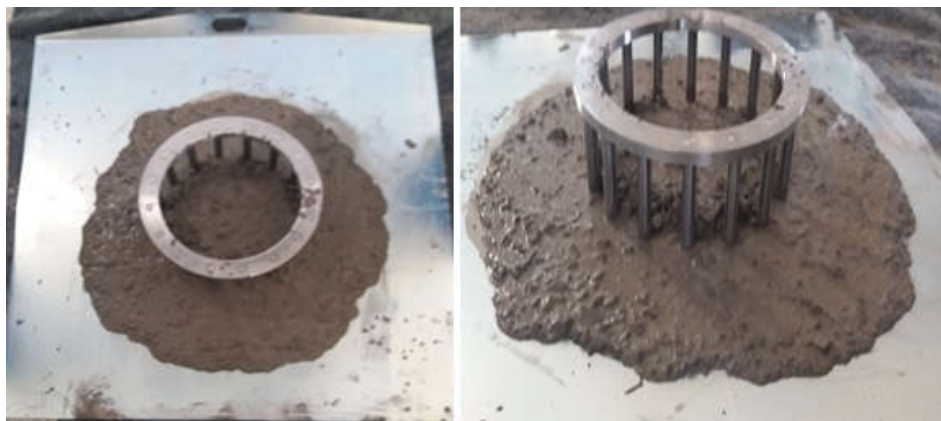


Figure IV.4 : Essai J-Ring

Tableau IV.5 : Essai J-Ring

Béton	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5
écoulement J-Ring(cm)	66	72	51	66	65

Commentaire sur les résultats:

D'après les résultats obtenus, il ressort que BAP2 est le plus répandu, suivi respectivement par BAP1, BAP4, BAP5 et BAP3.

Tableau IV.6 : Tableau récapitulatif des résultats d'essais à l'état frais des BAP

TYPE	La boîte en L(%)	Stabilité au tamis (%)	écoulement J-Ring (cm)
BAP1	0.87	23	66
BAP2	0.85	17	72
BAP3	0.82	13.6	51
BAP4	0.82	6.7	66
BAP5	0.94	15.4	65

IV.4 Essais sur béton durci

IV.4.1 Essai de compression

L'essai de compression consiste à soumettre l'éprouvette de béton à l'écrasement par compression axiale (Figure IV.5). La mise en charge doit se faire d'une manière continue jusqu'à rupture de l'éprouvette.



Figure IV.5 : l'éprouvette sous la compression

L'objectif de cet essai est de suivre l'évolution de la résistance à la compression et le comportement des différents échantillons pour BAP par rapport à BO.

Les essais de compression ont été réalisés sur des éprouvettes cylindriques de dimensions (11x22)cm.

Résultats:

Après avoir enregistré les données nécessaires sur la machine, les valeurs de la forces et de la résistance à la compression R_c sont lues directement sur l'écran de la machine (avec courbe).

Ou calculé par la formule classique $R_c \text{ (N/mm}^2\text{)} = F/S$ où :

- **F**: représentent la valeur de la force relevée au moment de la rupture de l'éprouvette sur le cadran de la presse (N).
- **S**: La surface sous la pression en (mm²).

La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois éprouvettes à chaque âge d'essai.

Les essais effectués sur les différents bétons à différents âges (7,14,28,45,60 jours) ont donné les résultats présentés dans le tableau suivant: (Tableau IV.7): [02]

Tableau IV.7 : Valeurs des résistances pour les essais de compression sur les bétons étudiés

Béton	Résistance à la compression (bars)				
	7 ^{eme} Jours	14 ^{eme} Jours	28 ^{eme} Jours	45 ^{eme} Jours	60 ^{eme} Jours
Ordinaire	31.50	34.01	35.10	36.15	36.60
AP avec poudre de brique	35.45	38.00	39.07	40.14	40.64
AP avec sable des dunes	30.01	34.22	35.25	36.32	36.77
AP avec déchets de béton	25.51	28.67	29.71	30.80	31.19
AP avec poudre de verre	33.40	36.18	37.24	38.24	38.71
AP avec poudre de marbre	34.18	37.11	38.16	39.21	39.70

Les résultats destructifs enregistrés dans le tableau ci-dessus pour différents échantillons représentées avec des courbes graphiques dans la Figure IV.6.

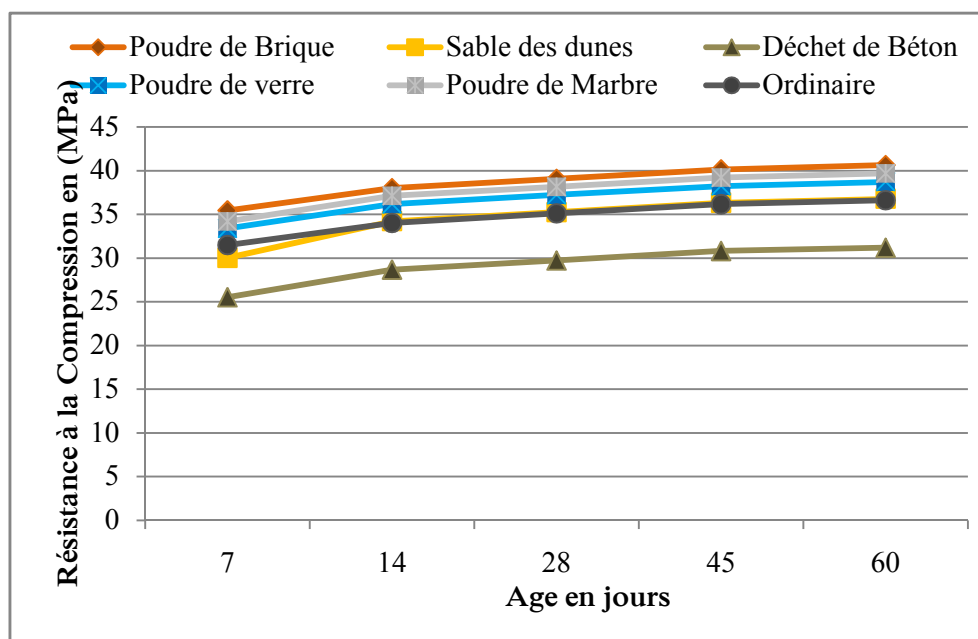


Figure IV.6 : Courbes graphique montrant l'évolution de la résistance à la compression en (MPa) de tous les six échantillon en fonction du temps

Commentaire sur les résultats:

D'après les résultats du test de pression, il a été observé ce qui suit :

1. La résistance à la compression augmente avec le temps
2. La résistance à la compression du BAP1 (poudre de brique) à l'âge de 28 jours était la plus élevée, suivie dans l'ordre par le marbre, le verre, et le sable des dunes, et les déchets de béton. Cela peut s'expliquer en deux points :
 - Différence dans le type d'additifs, leurs doses et leur état (poudre réactive ou non réactive).
 - Différence de dosage des super plastifiants.
3. Le béton auto plaçant BAP1, BAP2, BAP3, BAP5 avec ajout d'une dose de poudres dans l'ordre (brique, marbre, verre, sable) a une résistance à la compression élevée par rapport au béton ordinaire. Pourcentage d'augmentation de la pression. La résistance dans le cas des briques atteint 10,16% à l'âge de 28 jours, ce qui permet de formuler des bétons auto-plaçant de très bonne qualité.

Cela peut s'expliquer par les facteurs suivants :

- Utilisation de super plastifiant dans la composition de béton auto-plaçant.
- Les additifs ont un effet positif sur la cohésion du mélange de béton et la résistance à la séparation, ainsi que sur la réduction du pourcentage de vides et augmentent ainsi la résistance mécanique.

La résistance à la compression est faible dans le cas du béton auto-plaçant avec ajout d'une dose de poudre de déchets de béton BAP4 par rapport au béton ordinaire.

Le pourcentage de diminution atteint 15,35 % à l'âge de 28 jours. La raison en est peut-être due au pourcentage de la quantité ajoutée.

IV.4.2. Essai de traction par flexion

L'essai de traction par flexion est effectué sur des échantillons prismatique de dimensions (7x7x28)cm.

L'échantillon est placé dans une machine automatique sur deux appuis et est soumis à une charge continue jusqu'à sa rupture. On note alors la charge de rupture F. (Figure IV.7).



Figure IV.7 : Échantillon sous l'essai de traction par flexion

L'objectif de cet essai est de suivre l'évolution de la résistance de traction par flexion et le comportement des différents échantillons pour BAP par rapport à BO.

Résultats:

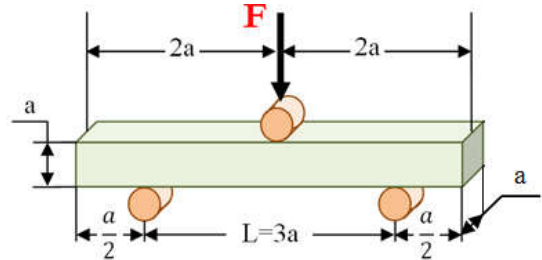
la résultat de la résistance de la traction par flexion(σ_f) calculer par la formule suivant:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2a^3}$$

Où : **F** : la charge de rupture.

L : la distance entre deux appuis.

a : dimension de la section.



La résistance de traction par flexion correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois éprouvettes à chaque âge d'essai.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant: [02]

Tableau IV.8 : Valeurs des résistances pour les essais de traction par flexion sur les bétons étudiés

Béton	Résistance à la traction par flexion (bars)			
	7 ^{eme} Jours	14 ^{eme} Jours	28 ^{eme} Jours	45 ^{eme} Jours
Ordinaire	2.57	3.12	3.40	4.13
AP avec poudre de brique	2.94	3.54	4.32	4.86
AP avec sable des dunes	3.17	3.58	3.99	4.04
AP avec déchets de béton	2.66	2.85	3.67	4.13
AP avec poudre de verre	3.07	3.99	4.13	4.40
AP avec poudre de marbre	2.85	3.21	3.86	4.23

Représentation des résultats destructifs enregistrés dans le tableau ci-dessus pour différents échantillons avec des courbes graphiques dans la Figure IV.8.

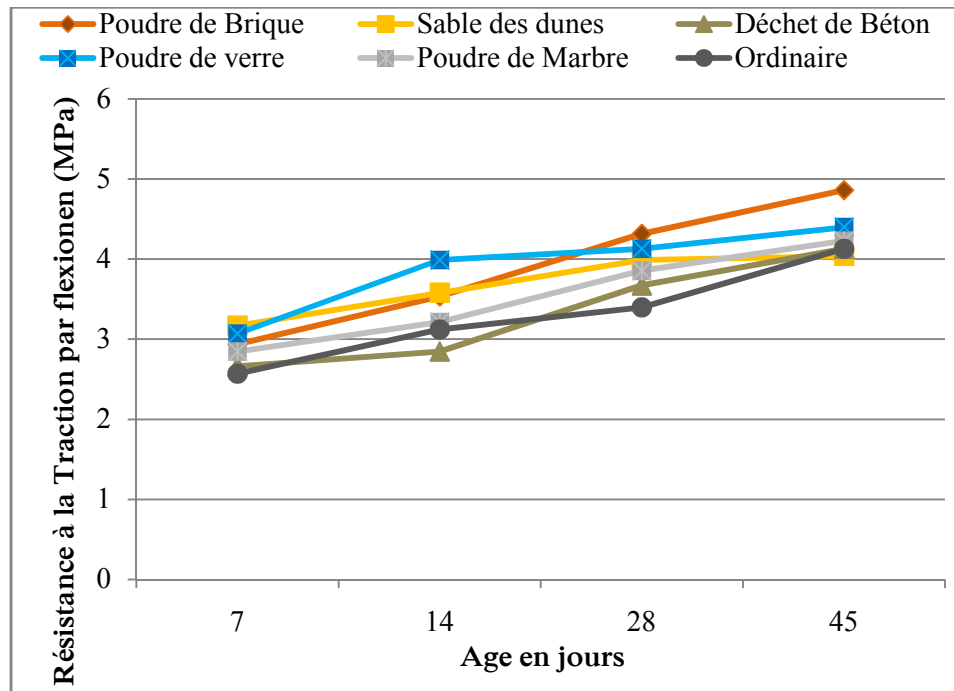


Figure IV.8 : Courbes graphique montrant l'évolution de la résistance à la traction par flexion en (MPa) de tous les six échantillon en fonction du temps

Commentaire sur les résultats:

D'après les résultats des essais de traction et de flexion, on a observé ce qui suit :

1. La résistance à la traction due à la flexion augmente avec le temps.
2. La résistance à la traction du BAP1 (poudre de brique) à l'âge de 28 jours était la plus élevée, suivi du BAP4, du BAP2, du BAP5, du BAP3. Cela s'explique par les mêmes facteurs évoqués dans le cas de la compression.
3. Tous les cas de béton auto-plaçant ont une résistance à la traction élevée par rapport au béton ordinaire. Le pourcentage d'augmentation de la résistance à la compression dans le cas des briques atteint 21,22% à l'âge de 28 jours, ce qui permet de formuler un béton auto-plaçant de très bonne qualité. Cela peut s'expliquer par les mêmes facteurs mentionnés dans l'état de pression.

Les valeurs obtenues lors de l'essai de traction sont égales à (10 à 12%) en béton auto-plaçant et à 9,3% en béton normal à partir des valeurs de l'essai de compression.

Ce pourcentage représente le rapport entre traction et compression et est proche de la Conventionnel 10%. On peut noter que l'ajout de différentes poudres dans le béton auto-plaçant a un effet positif sur les propriétés d'adhérence et de cohésion.

Concernant la thèse de doctorat en génie civil, soutenue par : M. Hermine Hasiba, A.B. Belhussein

Sujet : Caractérisation expérimentale et numérique des bétons auto-plaçants (valorisation des déchets). On peut noter les éléments suivants :

1. En choisissant le pourcentage de brique de 10%, le résultat de l'essai de traction en flexion était de 3,37 MPa. Par conséquent, le taux d'addition peut être augmenté dans des études ultérieures pour obtenir de meilleurs résultats.
2. En choisissant le pourcentage de marbre de 50%, le résultat de l'essai de traction en flexion était de 2,89 MPa. Le taux d'addition peut être réduit dans des études ultérieures pour obtenir de meilleurs résultats.

IV.4.3. Absorption d'eau par capillarité

L'absorption par capillarité est une propriété hydrique qui témoigne de la capacité de la pierre à absorber une quantité d'eau par unité de temps et de surface, lorsqu'une seule face est en contact direct avec de l'eau.

Cet essai consiste à suivre la cinétique d'imbibition capillaire à travers la quantité d'eau absorbée par unité de surface de l'échantillon en contact avec l'eau, en fonction de la racine carré du temps.

Les essais de L'absorption par capillarité ont été réalisés sur des éprouvettes cubique de dimensions (10x10x10)cm.

Pour réaliser cet essai l'échantillons sont préalablement séchés à une température de 70 °C jusqu'à obtention d'une masse constante, puis pesés afin d'en déterminer la masse sèche.

Les échantillons sont ensuite placés dans un bac permettant une mise en contact constante d'une face de l'échantillons avec 3 ± 1 mm d'eau. Une pesée des éprouvettes est assurée au cours du temps.



Figure IV.9 : Echantillons pour l'essai de l'absorption d'eau par capillarité

Résultats:

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est défini par la formule suivant:

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{mdry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6$$

Où : $C_{w,s}$: coefficient d'absorption d'eau par capillarité, en $g/m^2.s^{1/2}$.

$m_{so,s}$: masse de l'éprouvette après immersion pendant un temps t , en g.

$m_{mdry,s}$: masse de l'éprouvette après séchage, en g.

A_s : surface brute de la face de l'éprouvette immergée dans l'eau, en mm^2

t_{so} : temps d'immersion, en seconde s.

Après la détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité à différents intervalles de temps (15 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 4 heures, 8 heures, 24 heures) sur tous les échantillons de béton étudiés, les valeurs sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau IV.9 : Valeurs des coefficients d'absorption d'eau par capillarité sur les bétons étudiés

Bétons	Quantité d'absorption en (g) en fonction du temps								
	0 mn	15 mn	30 mn	45 mn	60 mn	120 mn	240 mn	480 mn	1440 mn
BAP avec Poudre de Brique	0	4.00	7.67	7.67	8.67	11.67	17.00	19.67	27.67
BAP avec Sable de dune	0	4.00	8.00	9.33	10.67	14.33	22.00	27.33	35.67
BAP avec Déchet de Béton	0	4.67	9.33	10.67	12.33	17.33	27.00	35.00	46.67
BAP avec Poudre de verre	0	3.67	7.33	8.00	8.33	14.00	23.33	29.67	41.67
BAP avec Poudre de Marbre	0	3.67	7.33	8.33	9.00	12.67	19.00	24.67	36.67
B Ordinaire	0	4.00	8.00	9.33	10.00	14.00	20.33	26.67	41.00

Représentation des résultats enregistrés dans le tableau ci-dessus pour différents échantillons avec des courbes graphiques dans la Figure IV.10.

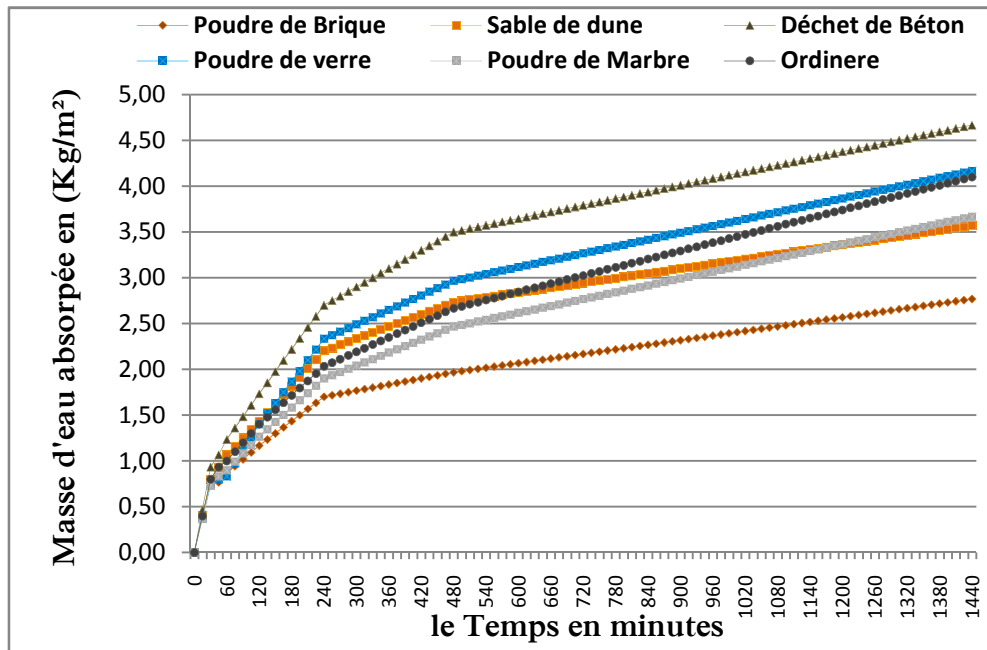


Figure IV.10 : Courbes graphique montrant l'évolution d'absorption de l'eau par capillarité sur les bétons étudiés

Avec les mêmes données, en fonction de la masse d'eau absorbée en Kg/m² et de la racine carrée du temps ($s^{1/2}$), cela donne la courbe graphique suivante:

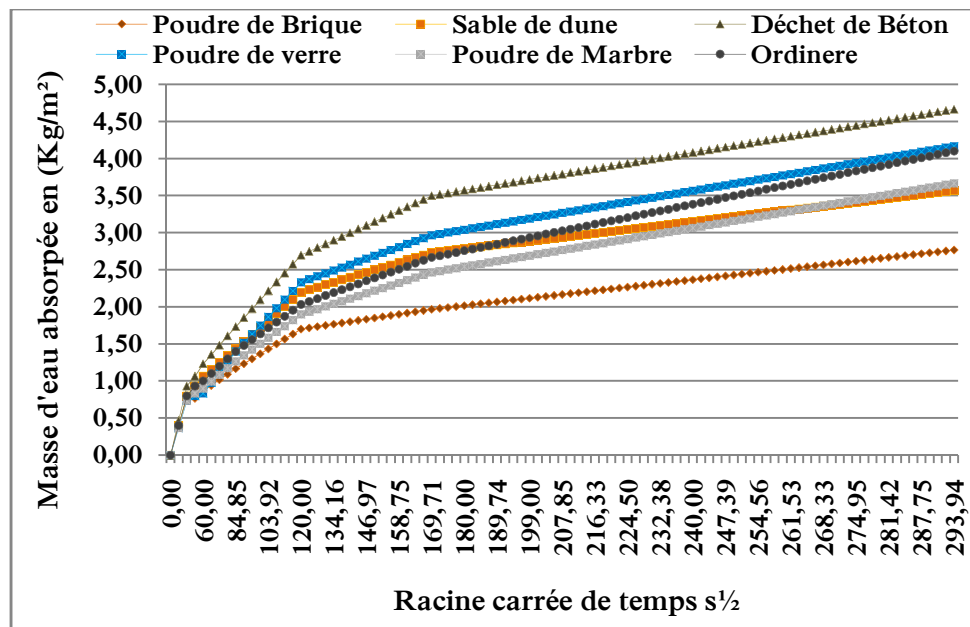


Figure IV.11 : Courbes graphique montrant l'évolution d'absorption de l'eau par capillarité en fonction de la masse d'eau absorbée en Kg/m² et de la racine carrée du temps ($s^{1/2}$) sur les bétons étudiés

Commentaire sur les résultats:

Absorption initiale : La première partie des courbes, curviligne, varie entre 0 et 1 h, et reflète le remplissage de pores plus gros. Ces pores dilatés se distinguent par l'absorption initiale, c'est à dire la quantité d'eau absorbée entre 0 et 1 heure.

Possibilité d'apparition : La deuxième partie des courbes, d'aspect plus linéaire, représente un remplissage capillaire fin. Le facteur représentatif de cette deuxième partie est la pente de la ligne, par exemple entre 1 et 24 heures. Cette pente est appelée « absorption ».

Coefficients d'absorption d'eau par capillarité à 24 heures pour différents bétons Une amélioration a été observée des coefficients d'absorption d'eau par capillarité pour les bétons BAP1, BAP2 et BAP5 par rapport aux bétons normaux. De plus, on constate également une légère augmentation des coefficients d'absorption d'eau capillaire BAP4 et BAP3 par rapport au béton normal. Parmi les différents bétons auto-plaçants, BAP1 présente la plus forte amélioration du coefficient d'absorption, suivi de BAP5, BAP2, BAP3 et BAP4.

IV.4.4. Perméabilité du béton

La perméabilité détermine la résistance d'un échantillon au passage d'un liquide sous pression à travers les pores.



Figure IV.12 : Etapes de l'essai de Perméabilité du béton

Les essais ont été réalisés sur des éprouvettes cubiques de dimensions (15x15x15)cm sous une pression 5 bars pendant 72 ± 2 heures.

Résultats:

La perméabilité est déterminée par une loi simple de DARCY

$$K = Q / A.i$$

Où : **Q** : le volume d'eau par unité de temps (vitesse d'écoulement) en (m³/s).

A : section traversée par l'eau (m²).

i : gradient hydraulique à travers le spécimen.

i = (la pression à l'intérieur de L'éprouvette - la pression à l'extérieur) / épaisseur du béton.

Les résultats obtenus pour chaque type de béton sont une moyenne de trois échantillons.

Le tableau suivant contient les résultats de tous les types des bétons testés:

Tableau IV.10 : valeurs du coefficient de perméabilité sur les bétons étudiés

Types de béton	Valeurs de K en m/s
BAP avec Poudre de Brique	2.75949E-12
BAP avec Sable de dune	2.55396E-12
BAP avec Déchet de Béton	6.77883E-12
BAP avec Poudre de verre	8.80182E-13
BAP avec Poudre de Marbre	6.8207E-12
Béton Ordinaire	1.39535E-11

Représentation des résultats enregistrés dans le tableau ci-dessus pour différents échantillons avec des courbes graphiques dans la Figure IV.13.

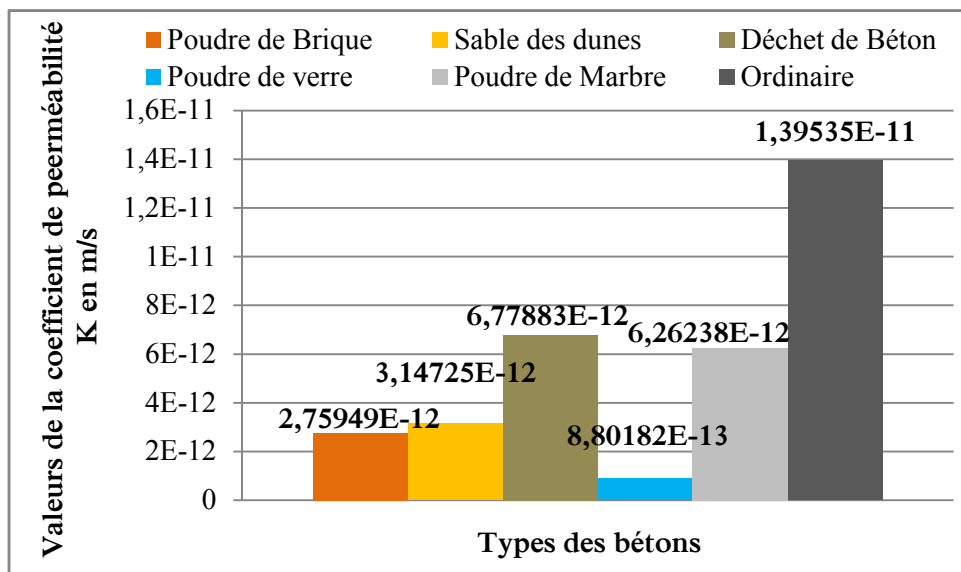


Figure IV.13 : Colonnes graphiques montrant les valeurs du coefficient de perméabilité sur les bétons étudiés

Pour les valeurs de la profondeur d'eau à l'intérieur des échantillons, elles sont indiquées dans le tableau suivant:

Tableau IV.11 : les valeurs de la profondeur d'eau à l'intérieur des échantillons étudiés

Types de béton	les valeurs en (cm)
BAP avec Poudre de Brique	3.33
BAP avec Sable de dune	4.20
BAP avec Déchet de Béton	4.57
BAP avec Poudre de verre	2.47
BAP avec Poudre de Marbre	3.75
Béton Ordinaire	6.27

les valeurs de la profondeur d'eau à l'intérieur des échantillons étudiés enregistrés dans le tableau ci-dessus sont représentés avec des Colonnes graphiques dans la Figure IV.14.

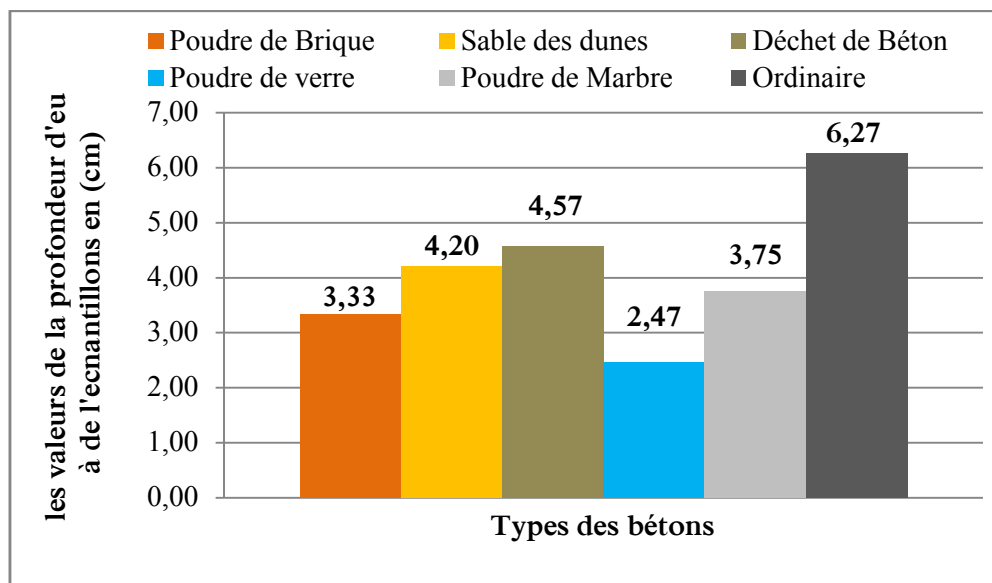


Figure IV.14 : Colonnes graphiques montrant les valeurs de la profondeur d'eau à l'intérieur de l'échantillons étudiés

Commentaire sur les résultats:

Nous constatons une amélioration des coefficients de perméabilité à l'eau par pression à 72 heures pour divers bétons auto-plaçants par rapport au béton ordinaire. Le BAP3 était le plus élevé en termes d'amélioration du coefficient d'absorption, suivi respectivement par le BAP1, le BAP2, le BAP5 et le BAP4.

IV.4.5. Essai de la variation dimensionnelle du béton

L'essai de la variation dimensionnelle du béton permet de contrôler le gonflement ou le retrait du béton.

Pour les échantillons que nous avons testés, nous avons du retrait, qui est le phénomène de réduisant le volume dimensionnel du béton dû à une évaporation de l'eau contenue dans le béton. Il existe ainsi plusieurs types de retraits (plastique, thermique, ...).

la mesure du retrait ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7x7x28)cm. Cette essai consiste à mesurer de la distance entre deux plots métalliques positionnés aux deux extrémités de l'éprouvette avec le détecteur de l'appareil de mesure.



Figure IV.15 : mesure du retrait



Figure IV.16 : l'étalonnage

L'objectif est de suivre l'évolution de la mesure du retrait pour les éprouvettes de béton BAP et de la comparer à l'évolution de la mesure du retrait pour les éprouvettes de béton BO.

Les mesures effectués sur les différents bétons à différents âges (1,2,3,7,14,28 jours) ont donné les résultats (Moyenne des mesures de trois échantillons) présentés dans le tableau suivant:

Tableau IV.12 : Les Valeurs du retrait sur les bétons étudiés

Bétons	valeurs de retrait en (mm) selon jour de mesure					
	1 ^{ere} Jour	2 ^{eme} Jours	3 ^{eme} Jours	7 ^{eme} Jours	14 ^{eme} Jours	28 ^{eme} Jours
BAP avec Poudre de Brique	0.035	0.066	0.097	0.140	0.152	0.155
BAP avec Sable de dune	0.200	0.317	0.584	0.645	0.669	0.736
BAP avec Déchet de Béton	0.072	0.135	0.195	0.266	0.302	0.324
BAP avec Poudre de verre	0.112	0.215	0.421	0.466	0.506	0.555
BAP avec Poudre de Marbre	0.055	0.105	0.169	0.274	0.308	0.340
B Ordinaire	0.023	0.155	0.260	0.370	0.375	0.487

Représentation des résultats enregistrés dans le tableau ci-dessus pour différents échantillons avec des colonnes graphiques dans la Figure IV.17, ainsi que pour les résultats au 28e jour représentés dans la Figure IV.18

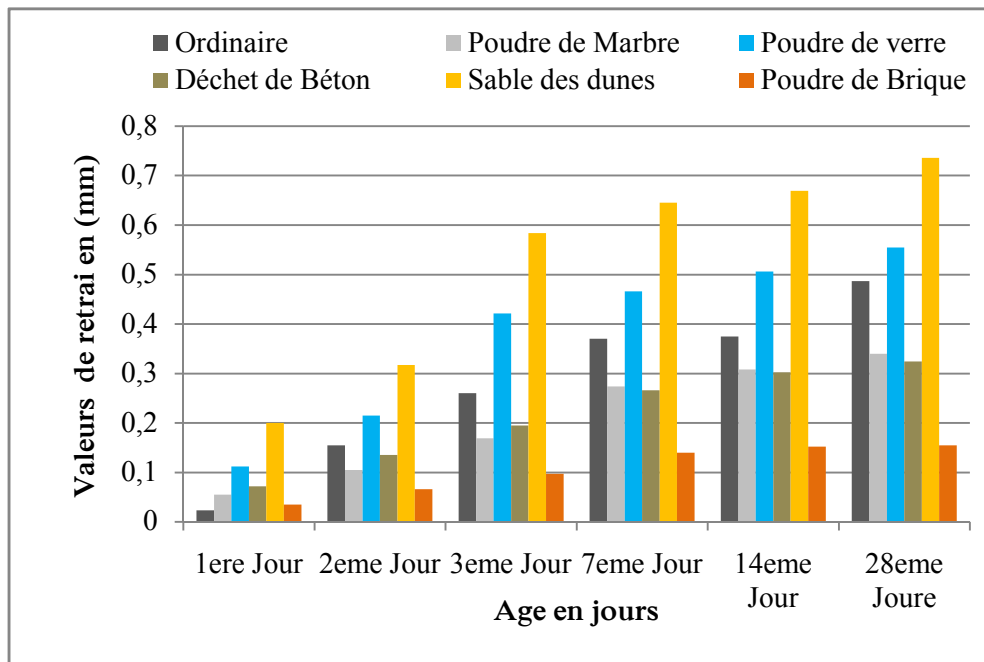


Figure IV.17 : colonnes graphiques montrant les valeurs de retrait selon jour de mesure sur les bétons étudiés

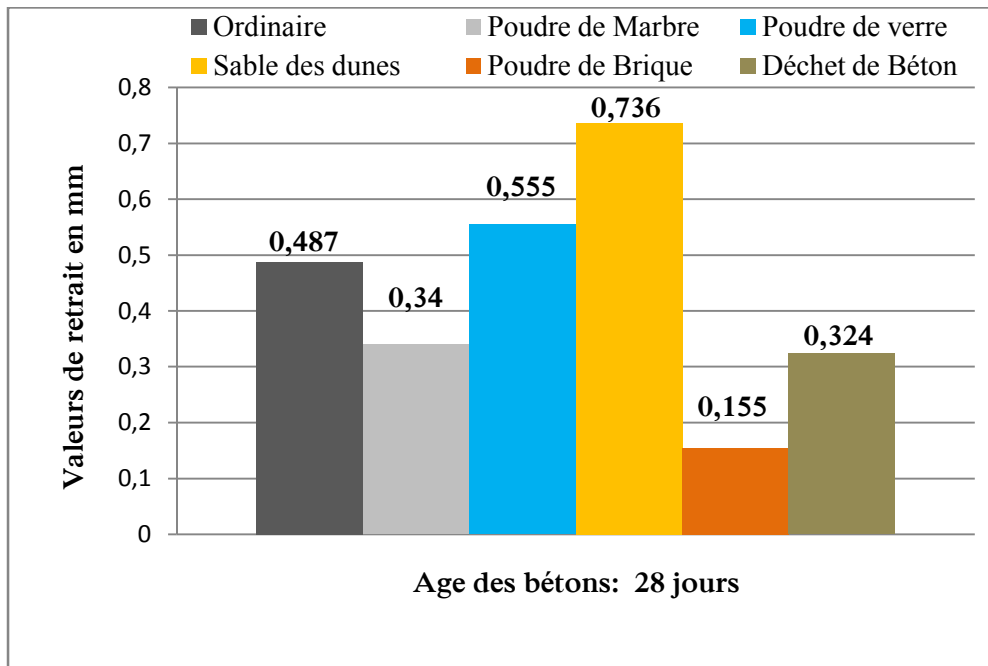


Figure IV.18 : Colonnes graphiques montrant les valeurs de retrait au vingt-huitième jour sur les bétons étudiés.

Commentaire sur les résultats:

Lors du séchage, le béton auto-plaçant et le béton ordinaire en général présentent un retrait qui augmente avec le temps et s'accélère au cours des trois premiers jours.

Les bétons auto-plaçants BAP3 et BAP5 ont montré un retrait plus élevé à 28 jours par rapport au béton normal à 28 jours.

Les bétons auto-cicatrisants BAP1, BAP4 et BAP2 ont également montré un retrait plus faible à l'âge de 28 jours par rapport au béton normal.

La différence de retrait est le résultat direct de la différence de composition du béton ainsi que du type et du dosage des additifs.

IV.4.6. Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique)

cet essai mesure la vitesse des ondes ultrasonores traversant l'échantillon en fonction du temps et de la distance, afin d'évaluer la qualité du béton.

Pour réaliser cet essai, vous devez Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera Fixé.

Employer un matériau intermédiaire entre les deux comme la vaseline, un savon, etc. et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester.

Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester.

Lire la vitesse enregistrée sur l'appareil.



Figure IV.19 : Essai d'auscultation sonique

Résultats De Mesure Aux Ultrasons:

Formule de calcul: $V=d/t$ Où : V : la vitesse de son en mètre/second.

d : la distance entre l'émetteur et récepteur en mètre.

t : le temps propagation d'onde par seconde.

Les mesures effectués sur les différents bétons à différents âges (7,14,28,45,60 jours) ont donné les résultats (Moyenne des mesures de trois échantillons) présentés dans le tableau suivant:

Tableau IV.13 : Les valeurs des mesures aux ultrasons sur les bétons étudiés

Béton	Les valeurs des mesures (m/s)				
	7 ^{eme} Jours	14 ^{eme} Jours	28 ^{eme} Jours	45 ^{eme} Jours	60 ^{eme} Jours
Ordinaire	4166.72	4255.35	4291.05	4259.26	4259.26
AP avec poudre de brique	4103.00	4148.10	4339.60	4307.10	4307.00
AP avec sable des dunes	4106.00	4176.00	4299.07	4220.18	4144.14
AP avec déchets de béton	3809.00	3978.80	4038.63	4042.18	4078.01
AP avec poudre de verre	4052.00	4090.10	4146.89	4042.98	3972.37
AP avec poudre de marbre	4224.50	4243.67	4283.10	4243.54	4240.23

Représentation des résultats enregistrés dans le tableau ci-dessus pour différents échantillons avec des courbes graphiques dans la Figure IV.20

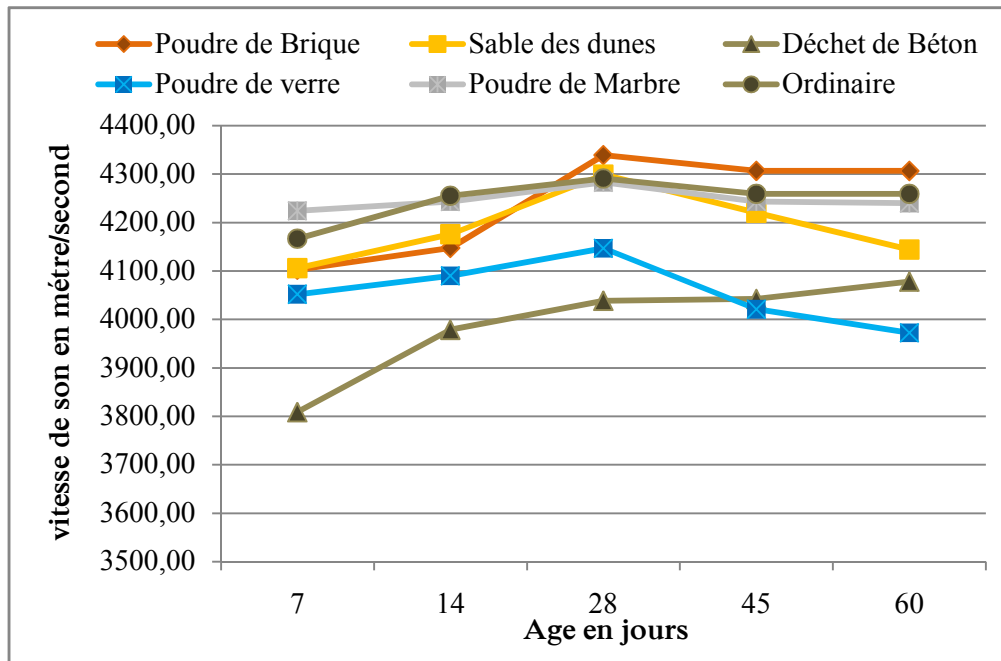


Figure IV.20 : Courbes graphiques montrant l'évolution des valeurs des mesures ultrasoniques sur les bétons étudiés

Commentaire sur les résultats:

La vitesse de fréquence la plus élevée a été enregistrée dans BAP1 (poudre de brique) et elle est également la plus élevée en résistance à la compression, ce qui explique que la vitesse de fréquence est directement proportionnelle à la résistance à la compression dans la plupart des cas. En général, tous les cas de béton auto-plaçant. De bons résultats ont été enregistrés à des vitesses de fréquence supérieures à 4 000 m/s à l'âge de 28 jours et sont considérés comme d'excellente qualité.

Les vitesses alternatives dans tous les cas de béton auto-plaçant sont proches des vitesses du béton ordinaire.

IV.5. Récapitulatif et discussion

Afin de donner une image claire sur les propriétés du béton, le tableau IV.14 à 28 jours présente un résumé de la comparaison entre les six types de béton BO, BAP1, BAP2, BAP3 , BAP4, BAP5.

Tableau IV.14 :Récapitulatif des résultats des différents bétons

Propriétés		BO	BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5
Ciment (kg/m ³)		400	400	400	400	400	400
Eau (l/m ³)		200	200	200	200	200	200
Rapport E/C		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Ajouts (kg/m ³)	Poudre de brique	/	50.11	/	/	/	/
	Poudre de marbre	/	/	124.38	/	/	/
	Poudre de verre	/	/	/	118.18	/	/
	Poudre de béton	/	/	/	/	136.25	/
	Sable de dune	/	/	/	/	/	76.43
Super plastifiant (kg/m ³)		/	4.39	2.71	4.39	3.59	2.67
S. 0/5(kg/m ³)		584.96	717.14	681.37	681.37	681.37	702.84
G. 3/8 (kg/m ³)		163.21	303.33	288.18	288.18	288.18	297.26
G. 8/16 (kg/m ³)		954.55	618.41	587.54	587.54	587.54	606.05
Affaissement (cm)		8.5	/	/	/	/	/
La boîte en L (%)		/	0.87	0.85	0.82	0.82	0.94
Stabilité au tamis (%)		/	23	17	13.6	6.7	15.4
écoulement J-Ring (cm)		/	66	72	51	66	65
Rt/f28 (MPa)		3.4	4.32	3.86	4.13	3.67	3.99
Rc28 (MPa)		22.23	29.755	34.18	30.870	22.6	32.270
Retr.28j (mm/m)		0.487	0.155	0.340	0.555	0.324	0.736
Vitesse de son (m/s)		4291.05	4339.60	4283.10	4146.89	4038.63	4323.00
Perméabilité (cm)		6.27	3.33	3.75	2.47	4.57	4.20
Absorptivité (kg.m ⁻² .s ^{1/2})	0 jusqu'a 1h	1.00	0.87	0.9	0.83	1.23	1.07
	1 jusqu'a 24h	3.1	1.9	2.77	3.33	3.43	2.5
Moule béton en (cm)	compression	Ø11H22					
	Vitesse de son						
	Traction	7×7×28					
	Retrait						
	Absorption d'eau	10×10×10					
	Perméabilité	15×15×15					

IV.6. Conclusion et Recommandations

IV.6.1. Conclusion

Cette étude vise à évaluer les propriétés rhéologiques et mécaniques du béton auto plaçant avec ajout de poudres de déchets de construction disponibles localement (brique, verre, marbre, sable, déchets de béton) dans différentes proportions, afin de déterminer son effet sur les propriétés du. Béton auto-plaçant à l'état frais et à l'état durci. On peut penser à ajouter ces poudres comme substitut du ciment

ce qui est très bénéfique pour certaines doses de masse cimentaire. La conception expérimentale est une méthode efficace et simple qui permet une meilleure analyse et interprétation grâce à la modélisation et à l'optimisation. Ces objectifs sont représentés par trois questions principales :

- Recherche de la méthode de conception du béton auto plaçant dans le contexte algérien.
- Évaluation de l'effet des additifs sur le comportement des bétons auto plaçant.
- Comparaison des performances du béton auto-plaçant basée sur l'effet des additifs avec le béton ordinaire.

Les résultats des essais à l'état frais des bétons auto-plaçants contenant un pourcentage d'additifs ont montré un étalement horizontal correct et acceptable et une bonne résistance au délaminage statique.

Après 28 jours, les résultats de l'essai de compression ont montré une bonne résistance à l'exception des déchets de béton concassés, et une bonne résistance à la traction par flexion sur tous les béton étudié.

Les valeurs de retrait apparaissent entre acceptable et bon. On peut donc dire que l'évolution du retrait est liée à la teneur et à la qualité des ajouts.

Les résultats des tests par ultrasons ont révélé des vitesses d'onde supérieures à 4 000 m/s à 28 jours d'âge sur tous les béton étudié, ce qui en fait un béton d'excellente qualité.

Les tests d'absorption d'eau par capillarité après 24 heures ont montré des résultats acceptables à bons. Les pores capillaires (porosité) sont la porosité du matériau et le premier indicateur de sa durabilité, car la porosité est le siège des agressions extérieures. , plus il est facile pour les clients de pirater.

Les résultats ont montré une amélioration des coefficients de perméabilité à l'eau par pression à 72 heures pour différents bétons auto plaçant par rapport au béton ordinaire. La perméabilité est un indicateur de durabilité.

La conclusion que l'on peut tirer de ces résultats est la suivante :

- Il est clair qu'à partir des déchets de construction locaux, on obtient un bon béton en termes de performances fraîches et durcies.
- Selon les performances du béton auto-plaçant avec l'ajout poudre de brique est le meilleur additif, suivie dans l'ordre par BAP avec l'ajout poudre de marbre, et BAP avec l'ajout poudre de verre, BAP avec l'ajout poudre de sable des dunes et BAP avec l'ajout poudre de déchets de béton.

IV.6.2. Recommandations

Après avoir réalisé cette étude sur les bétons auto-plaçants avec additifs issus des déchets des matériaux de construction, nous proposons quelques recommandations, qui sont présentées dans les points suivants:

- Réaliser d'autres études sur différents types d'additifs disponibles localement, dans des proportions variées, afin d'obtenir de meilleurs résultats et relever les défis existants liés à l'évolution des comportements et des caractéristiques du BAP.
- Modification le rapport E/C et pourcentage du Superplastifiant pour obtenir une résistance plus élevée et une durabilité plus longue.
- Réaliser d'autres essais, telles que l'évaluation de la durabilité et de la résistance aux éléments agressifs, sur une période prolongée, afin d'explorer et de développer davantage ce type de béton

Nous espérons avoir pu révéler certaines propriétés du béton auto-plaçant utilisant des déchets de construction, ce qui contribuera à réduire les déchets de construction et à préserver l'environnement .

Références bibliographiques

- [1] **Zaidi Hadj et Saadoune Lotfi** "Caractérisation mécanique d'un béton auto plaçant à partir d'un essai d'indentation", Thèse de Master, Université Mohamed el Bachir el Ibrahim bordj Bou Arreridj, 2019 / 2020, (Page5 / Page7).
- [2] **A. Chikh**, "Formulation et caractérisation d'un béton auto-plaçant ", Thèse d'Ingénieur d'Etat en Génie Civil, Ecole Nationale de Poly Technique Alger, 2005 / 2006, (Page8/Page 44 / Page 72/ page74).
- [3] **Messaoudi farih**, "Influences Des Agents de Viscosité sur les Paramètres Rhéologiques Intrinsèques des Mortiers des Béton auto-plaçant", Thèse de Doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, 2016, (page7/page 21).
- [4] Mcours.com, Chapitre I,(page 11).
- [5] Béton auto-plaçant Chapitre II,(Page 30).
- [6] "Ciments Ordinaires Et Composés - Fabrication, Propriétés, Normes Et Emplois", chapitre II, semestre I, master I,(Page 01).
- [7] **Idjahnine Mohamed Yahia A/Halim**, "Formulation &Caractérisations des bétons Auto-plaçant avec comme Ajout le Déchet de Brique Broyé", Thèse de Magister, Université Abderrahmane Mira –Bejaia-, 15/06/2009, (Page27).
- [8] **Benakli Sarah**, "Caractérisation expérimentale des bétons auto-plaçant obtenus par ajout des déchets de construction", Thèse d'Ingénieur d'Etat en Génie Civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou,(page22/ Page23 / Page 24/ Page 53).
- [9] https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_d%27%C3%A9talement_au_c%27B4ne_d%27Abrams
https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_de_stabilit%C3%A9_au_tamis
- [10] (NF EN 12350-10 / 12350-12)
- [11] Chapitre I : "Le béton auto-plaçant", (page28).
- [12] **Mohamed Lyes Kamel Khouadjia**, "Etude des Physico- mécanique et Rhéologiques des béton à base des Sables de Carrières: Expérimentation et Modélisation", Thèse de Doctorat LMD en Génie Civil, Université Mohamed Khider -Biskra-, 19 Mai 2016,(page 47).

- [13] Chapitre-3- : "Essais non destructifs du béton", (page 56/ page 49).
- [14] "Terre et Pierre Expertise et Innovation (CTMNC)", (Page 01).
- [15] <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5231/loi-de-darcy>
- [16] **Smain Benyamina** " Performance des Bétons Auto-plaçant à Base de Sable de Concassage",
Thèse de Doctorat, Université de Bliha 1, 2019, (Page 38).
- [17] **Drici Nadia**, "l'Optimisation des Performances d'un BAP Modifié par un Plan d'Expériences",
Thèse de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi-BBA, 2019/2020, (page 29/ page 30).
- [18] <https://www.infociments.fr/betons/fabrication-transport-et-mise-en-oeuvre-des-bap>.
- [19] **NF EN 12350-8** novembre 2010
Essai pour béton frais - Partie 8 : béton auto-plaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams.
- [20] **NF EN 12350-10** novembre 2010
Essai pour béton frais - Partie 10 : béton auto-plaçant - Essai à la boîte en L.
- [21] **NF EN 12350-11** novembre 2010
Essai pour béton frais - **Partie 11** : béton auto-plaçant - Essai de stabilité au tamis.
- [22] **NF EN 12350-12** novembre 2010
Essai pour béton frais - **Partie 12** : béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'anneau.
- [23] **NF EN 12350-09** novembre 2010
Essai pour béton frais - **Partie 9** : béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'entonnoir en V.
- [24] **NF EN 12390-4** novembre 2010
Essais pour béton durci - **Partie 4** : résistance à la compression - Caractéristiques des machines d'essai.
- [25] **NF P18-407** juin 1970
Bétons de construction. Détermination des caractéristiques mécaniques des bétons. Essai de traction par flexion.

[26] **NF P12390-6** avril 2012

Essais pour béton durci - **Partie 6** : détermination de la résistance en traction par fendage d'éprouvettes.

[27] **NF P 18-427** décembre 1996

Béton - Détermination des variations dimensionnelles entre deux faces opposées d'éprouvettes de béton durci.

[28] **NF EN 12504-4** juillet 2021

Essais pour béton dans les structures - **Partie 4** : détermination de la vitesse de propagation des ultrasons.

[29] **NF EN 12504-2** juillet 2021

Essais pour béton dans les structures - **Partie 2** : essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement.

[30] **NF EN 772-11** août 2011

Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie - **Partie 11** : détermination de l'absorption de l'eau par capillarité des éléments de maçonnerie en béton de granulats, en béton cellulaire autoclave, en pierre reconstituée et naturelle et du taux initial d'absorption d'eau des éléments de maçonnerie en terre cuite.

[31] **NF EN 12390-8** avril 2012

Essais pour béton durci - **Partie 8** : profondeur de pénétration d'eau sous pression.

[32] **NA 442** Date : 2005 N° édition : 3

Norme algérienne: Ciment composition, spécification et critères de conformité des ciments courants.

[33] **NF EN 197-1** avril 2012

Ciment - **Partie 1** : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.

[34] **NF P 18-553** septembre 1990

Granulats - Préparation d'un échantillon pour essai.

[35] **NF EN 933-1** mai 2012

Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - **Partie 1** : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage.

[36] **NF EN 933-2** juillet 2020

Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - **Partie 2** :
détermination de la granularité - Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures.

[37] **NF P18-304** décembre 1973

Granulométrie des granulats.

Association française de normalisation.

[38] **NF P18-598** octobre 1991

Granulats - Équivalent de sable.

[39] **NF P 18-554** décembre 1990

Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la
teneur en eau des gravillons et cailloux.

[40] **NF P 18-555** décembre 1990

Granulats - Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des
sables.

[41] https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_d%E2%80%99affaissement_au_c%C3%B4t%C3%A9_d%E2%80%99Abrams

[42] **NF EN 12350-2** juin 2019

Essais pour béton frais - Partie 2 : essai d'affaissement.

Annexe I



ماتين
MATINE

ALGÉRIE



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

Annexe 02

BUILDING TRUST



Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un ~~superplastifiant~~ haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un ~~superplastifiant~~ puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

DOMAINES D'APPLICATION

- Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de bétons plastiques à auto-plaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons auto-plaçants, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

AGRÈMENTS / NORMES

Marquage CE et NF selon la norme NF EN 934-2 tab 3.1 et 3.2.

PV CNERIB : DTEM/108/2017

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement

- Fût de 230 kg
- Cubi de 1100 kg
- Vrac

Durée de Conservation

12 mois dans son emballage d'origine intact.

Conditions de Stockage

A l'abri du gel.

En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une

fois dégelé lentement et réhomogénéisé.

Aspect / Couleur

Liquide brun clair à foncé

Densité

1,06 ± 0,01

Valeur pH

4,5 ± 1,0

Teneur Totale en Ions Chlorure

≤ 0,1 %

Équivalent Oxyde de Sodium

≤ 1 %



Annexe 03

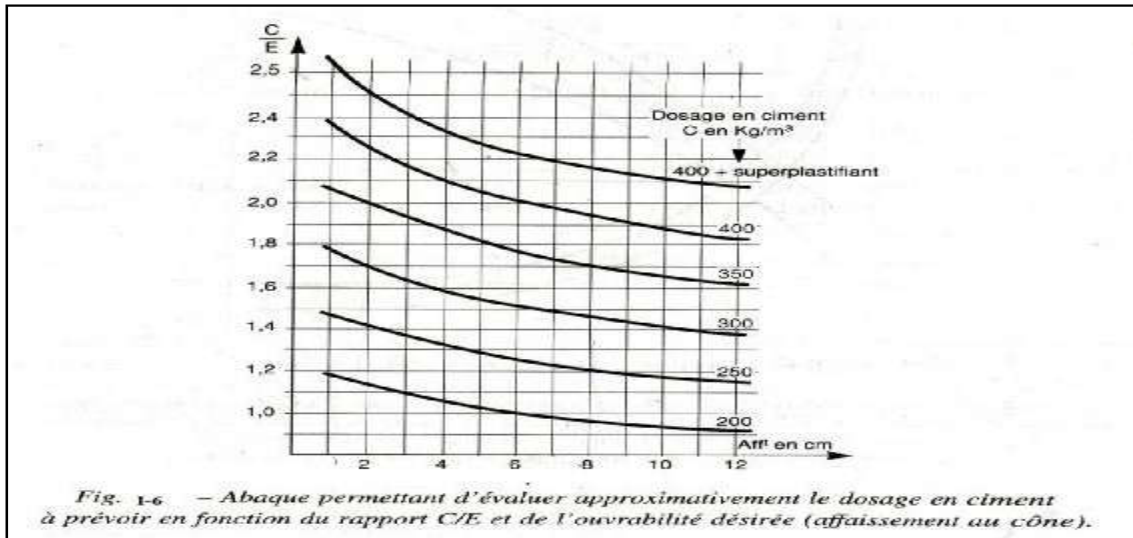


Tableau donnant les valeurs de K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	concassé	Roulé	concassé	Roulé	concassé
Dosage en ciment	400+fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Valeur du coefficient de compacité γ

Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter une correction
: sable roulé et gravier concassé $\rightarrow -0,01$; sable et gravier concassés $\rightarrow -0,03$

Consistance	serrage	Coefficient de compacité γ						
		Dmax=5	Dmax=10	Dmax=12,5	Dmax=20	Dmax=31,5	Dmax=50	Dmax=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,780	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855