

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

FACULTE DE Technologie

DEPARTEMENT : Génie civil

N° :/2021



DOMAINE : Génie Civil

FILIERE : Génie Civil

OPTION : Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: DJIAB NOR ELHOUDA & HAFFAF FAYZA

Intitulé

**L'effet de l'utilisation des résidus (les copeaux métalliques)
dans la formulation des bétons autoplaçants à l'état frais et
durcis**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. BELAGRAA Larbi	Université de M'sila	Président
Dr. Zitouni Salim	Université de M'sila	Examineur
Dr. DJEBRI Noura	Université de M'sila	Rapporteur
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Université de M'sila	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements



*La première chose on remercie le dieu pour le succès qu'il nous a
donne, la volante et la patience tout au long de la période
d'étude*

En second lieu nous remercions aussi notre

*Encadreur «Mme. DJEBRI NOURA», et Co-Encadreur «Pr.
RAHMOUNI- Zine El Abidine» pour l'orientation, la confiance et la
patience tout long de ce travail .*

*Nos remerciements vont aussi le chef de département du génie
civil « Mr. BAALI LAÏD » qui nous encourage et a tous les
enseignants de département Nous tenons à exprimer notre
reconnaissance à tous*

nos amis et

*collègues et tous les employés du laboratoire de génie civil à
l'université de Mohamad Boudiaf surtout*

« bakhti yamna » et « wahiba ».

Nor Elhouda et Fayza



Dédicace

Je dédie premièrement mon

travail à mes très chers

parents :

« BELKACEM » et « NASSIRA ».

Et ma grande Famille:

« DJIAB ».

Je dédie à mes frères :

« ABDO , OMAR »

et

à mes sœurs

« ARWA , LOUBNA ».

Je dédie à me chère amie

« fayza ».

DJIAB NOR ELHOUDA

Dédicace

Je dédie premièrement mon

travail à mes très chers

parents :

« mohammed » et « Noura ».

Et ma grande Famille:

«Haffaf».

Je dédie à mes frères :

« Aymen »

et

à mes sœurs

« somia , hadil , tassnim , imen , ilham ».

Je dédie à me chère amie

« NOR ELHOUDA ».

HAFFAF FAYZA

Résumé

Les bétons autoplaçants (BAP) ont apporté un aperçu prometteur de l'industrie du béton afin de générer un impact environnemental et de réduire les coûts.

Une étude expérimentale pour étudier les propriétés des BAP contenant des copeaux métalliques avec l'étude des propriétés des BAP à l'état frais : l'écoulement, boîte en L et la stabilité au tamis et les propriétés à l'état durci des bétons : la perméabilité à l'eau, la résistance à la compression et la vitesse d'impulsion ultrasonique.

le déchet métallique sous forme de copeaux, incorporé de dosage de 0.5 % de volume du béton dans les mélanges des BAP élaborées, ce qui permet d'évaluer l'effet de l'ajout des copeaux métalliques sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et durcis et de valoriser les déchets métalliques, les résultats confirment l'avantage de l'ajout des copeaux métalliques à l'état frais les BAP étudiés garde ses caractéristiques d'auto plasticité, à l'état durci les résultats montrent une amélioration de la résistance en compression des BAP étudiés.

Mots clé : Béton autoplaçant, copeaux métalliques, Propriétés rhéologiques, l'état frais, l'état durci, Propriétés mécaniques

ملخص

جلبت الخرسانة المضغوطة ذاتياً (SCC) نظرة ثاقبة واعدة في صناعة الخرسانة لإحداث تأثير بيئي وخفض التكاليف.

دراسة تجريبية لدراسة خصائص BAPs التي تحتوي على رقائق معدنية مع دراسة خصائص BAPs في الحالة الطازجة: التدفق ، L-box وثبات الغربال وخصائص الحالة الصلبة للخرسانة: نفاذية الماء وقوة الانضغاط والموجات فوق الصوتية سرعة النبض.

نفايات معدنية على شكل نشارة، مدمجة بجرعة 0.5% من حجم الخرسانة في مخاليط SCC المحضرة ، مما يجعل من الممكن تقييم تأثير إضافة الرقائق المعدنية على خصائص SCC في الحالة الطازجة والمتصلبة واستعادة النفايات المعدنية ، تؤكد النتائج ميزة إضافة نشارة معدنية في الحالة الجديدة التي درسها BAP تحافظ على خصائص اللدونة الذاتية ، وفي الحالة الصلبة تظهر النتائج تحسناً في تمت دراسة مقاومة الانضغاط لـ BAPs.

□ كلمات مفتاحية: رسانة ذاتية تماسك، نجارة معدنية، خوا □ ريو وجية، خالة سائلة، خالة صلبة، خوا □ ميكانيكية

Abstract:

Self-compacting concrete (SCC) has brought promising insight into the concrete industry to make an environmental impact and reduce costs.

Experimental study to study the properties of BAPs containing metallic foil with the study of the properties of BAPs in the fresh state: flow, L-box and sieve stability and properties of solid-state concrete: water permeability, compressive strength and ultrasonic pulse velocity.

Waste mineral in the form of sawdust, incorporated at a dose of 0.5% of the volume of concrete in prepared SCC mixtures, which makes it possible to evaluate the effect of adding metallic chips on the properties of SCC in the fresh and hardened state and recovering mineral waste, the results confirm the advantage of adding mineral shavings in the new state studied by BAP They maintain intrinsic plasticity properties, and in the annealed state the results show an improvement in the compressive strength of BAPs has been studied.

Keywords : Self-consolidating concrete, metal shavings, Rheological properties, fresh state, hardened state, Mechanical properties.

Table des matières

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table des matières	
Liste des tableaux et figures	
Introduction générale	2
Chapitre I: Etude Bibliographique Sur le Béton Autoplaçant (BAP	
I.1. Introduction:	5
I.2. Historique de béton Autoplaçant:	6
I.3. Définition du Béton Autoplaçant :	6
I.2. Les Principaux constituants des BAP:	7
I.2.1. Matériaux de base:	7
I.2.2. Les granulats:	8
I.2.3. Le ciment:	8
I.2.4. L'eau de gâchage:	8
I.2.5. Additions minérales:	8
I.2.6. Les fillers calcaires:	9
I.2.7. Les superplastifiants:	9
I.3. Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP:	11
I.3.1. Essais de caractérisation des BAP :	13
I.3.1.1 .Capacité de remplissage:	13
I.3.1.2. Essai de capacité de remplissage:	13
I.3.1.3. Essai du tube en U :	14
I.3.1.4. Essai d'étalement (slump flow) :	15
I.3.1.5. B- Essai de boîte en L :	16
I.3.1.6. Stabilité au tamis :	18
I.3.1.7. Essai d'étalement modifié (J-Ring) :	19
I.3.1.8. Essai de V- funnel :	21
I.4. Propriétés des BAP à l'état durci :	22

I.4.1. Essai de compression :	22
I.4.2. Essai de traction par flexion :	23
I.5. Les avantages des BAP :	25
I.6 Méthode de formulation de béton:.....	26
I.6.1. Méthode Japonaise :.....	26
I.6.2. Méthode Suédoise:.....	27
I.6.3. Méthode Française :.....	28
I.7. Influence des paramètres de formulation sur les propriétés a l'état frais:	29
I.7.1. Rôle des adjuvants:	29
I.7.2. Rôle des fines:.....	30
I.7.3. Autre paramètres de formulation:.....	30
I.8. Fabrication, transport et mise en place des BAP :	30
I.8.1. Fabrication :	30
I.8.2. Transport des BAP :.....	31
I.8.3. Mise en place :	31
I.9. Conclusion:.....	32
Chapitre II: VALORISATION DES DÉCHETS	
II .1. Introduction:.....	36
II.2. Recyclage des déchets:	36
II.2.1. Définition d'un déchet:.....	36
II.2.2. Les déchets peuvent être classés en trois catégories :	36
II.2.3. Définition de recyclage:	37
II.2.4. Les objectifs précédents sont illustrés dans la figure	39
II.3. Origine de la production des déchets :.....	39
II.4. Constitution chimique du déchet :.....	39
II.5. Différents types des déchets :	40
II.5.1. Déchets ultimes :	40
II.5.2. Déchets inertes :	40
II.5.3. Déchets assimilés :	40

II.5.4. Déchets verts:	41
II.5.5. Déchets organiques:.....	41
II.5.6. Déchets industriels banals (DIB):.....	41
II.5.7. Déchets dangereux:	41
II.6. Technique de recyclage :	42
II.6.1. Procédés du recyclage:	42
II.6.2. L'intérêt de la valorisation :	42
II.6.3. Gestion des déchets :	42
II.6.3.1. Collecte de déchets :	42
II.6.3.2. Transformations :	43
II.6.3.3. Commercialisation et consommation :	43
II.7. Principe de gestion des déchets :	43
II.8. Technique de gestion des déchets :	43
II.8.1. Décharge :.....	43
II.8.2. Incinération:.....	44
II.8.3. Compost et fermentation:	44
II.8.4. Traitement biologique et mécanique :.....	45
II.8.5. Pyrolyse et gazéification :	45
II.9. Impacts du recyclage sur l'environnement:	46
II.10. Impact du recyclage dans l'industrie :.....	46
a. Source d'approvisionnement alternative :	46
c. Mise en conformité avec la loi :	47
d. Coût de main-d'œuvre:.....	47
e. Conséquences sur les produits issus du recyclage:.....	47
II.11. Déchets utilisés comme granulats du béton:	48
II.11.2. Déchets de la démolition :.....	49
II.11.3. Déchet de Pneus :	50
II.11.4. Les déchet de brique:.....	51
II.11.5. Déchet de Verre:.....	51
II.11.6. Les déchets de chantier :.....	52

II.11.7. Les déchets plastiques :	53
II.11.8. Déchet de bois:	54
II.12. Conclusion.....	55

Chapitre III: La Partie Expérimentale, Matériaux et Matériels et Formulation

III.1. introduction :.....	57
III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés et composition du BAP :	57
III.2.1. Le sable :	57
III.2.2. Le gravier :	66
III.2.3. Le ciment :.....	72
III.2.4. Les copeaux métalliques :.....	73
III.2.5. L'adjuvant :	74
III.2.6. Le filler (marbre) :.....	74
III.2.7. L'eau de gâchage :	74
III.3. Formulation du béton autoplaçant:.....	75
III. 3 .1. Préparation de la gâchée :	75
II I. 3. 2. Conservation des éprouvettes :	76
III. 3 .3. Formulation de béton autoplaçant :.....	76
III.4 Les compositions des différents bétons :	78
III.5 Conclusion:.....	78

Chapitre IV: Techniques Expérimentales des BAP

IV.1. INTRODUCTION	80
IV.2. Essais de caractérisation du béton autoplaçant à l'état frais :.....	80
IV.2.1. Détermination de la consistance au cône d'Abram's :	80
IV.2.2Détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte L :	83
IV.2.3 Détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis :.....	84
IV.3 Essais de caractérisation du béton autoplaçant à l'état durci :	85

IV.3.1. Essai de compression :	85
IV.3.2 Essai de traction par flexion :	87
IV.3.3 Mesure de la porosité :	88
IV.3.4. Détermination de la résistance par les essais non destructifs	89
IV.4 Conclusion :	92

Chapitre V:

Résultats et Analyse

V.1. Introduction :	94
V.2 . Résultats des essais à l'état frais :	94
V.2.1. Essai d'étalement au cône d'Abram's :	94
V.2.2. Essai de stabilité au tamis :	95
V.2.3. Essai de la boîte en L :	95
V.2.4. La masse volumique :	96
V.2. Résultats des essais à l'état durci :	97
V.2.1. La résistance mécanique à la compression et à la traction par flexion:	97
V.2.1.1. La résistance à la compression :	97
V.2.1.2. Résistance à la traction par flexion:	98
V.2.2. Les essais non destructifs (END) :	99
V.2.2.1. L'essai à l'ultrason	99
V.2.2.2. L'essai au scléromètre :	99
V.3. Conclusion :	100
Conclusion générale	102
Les références bibliographiques	105

Annexes

Liste des tableaux et figures

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Les propriétés essentielles des BAP frais	11
Tableau I.2 - Valeurs préconisées pour les essais A.F.G.C	19
Tableau III.1 : Analyse granulométrique du sable	59
Tableau III.2. La masse volumique absolue du sable.....	61
Tableau III.3. La masse volumique apparente à l'état lâche VR= 900l.....	62
Tableau III.4 : La masse volumique apparente à l'état compact.....	62
Tableau III.5. Porosité, compacité et indice des vides	63
Tableau III.6 : Equivalent de sable.....	65
Tableau III.7 : Classification de la nature du sable en fonction de l'E.S	65
Tableau III.8 : La teneur en eau du sable	66
Tableau III.9 : Le degré d'absorption d'eau du sable.....	66
Tableau III.10 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	67
Tableau III.11. Analyse granulométrique du gravier 8/16	68
Tableau III.12 : La masse volumique apparente du gravier	69
Tableau III.13 : La masse volumique absolue du gravier	69
Tableau III.14. Porosité et compacité et indice des vides	70
Tableau III.15 : Teneur en eau des graviers	70
Tableau III.16 : Degré d'absorption d'eau du gravier.....	71
Tableau III.17 : Caractéristiques mécaniques du gravier	72
Tableau III.18 : Classification du gravier en fonction du coefficient de Los Angeles	72
Tableau III.19 : Caractéristiques physiques du marbre.....	74
Tableau III.20. Caractéristiques chimiques du marbre.....	74
Tableau III.21. Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage	75
Tableau III.22. La composition des matériaux pour 1m3 de béton.....	78
Tableau. IV.1. Classement de la formulation selon le pourcentage.....	86
Tableau V.1 : Résultats des essais à l'état frais	95

Liste de figure

Figure. I.1. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP	05
Figure I.2 : Représentation schématique des molécules de base superplastifiants les plus connus.....	09
Figure I.3 : Pâte de ciment non adjuvantée	10
Figure I.4 : Pâte de ciment additionnée d'un superplastifiant.....	10
Figure. I.5. Exemples de comportements rhéologiques pour différents types de béton ...	12
Figure. I.6. Essai de capacité de remplissage	14
Figure. I.7. Essai du tube en U	15
Figure. I.8. Mesure de l'étalement des BAP	16
Figure I.9 Détermination de l'étalement.	16
Figure I.10 - Représentation schématique de l'essai à la boîte en L	17
Figure I. 11 Représentation de l'essai à la boîte en L	17
Figure. I.12. Essai de stabilité au tamis.....	18
Figure I. 13 - Représentation de l'essai de stabilité au tamis	19
Figure. I.14. Dispositif de l'essai d'étalement modifié (J-Ring).....	20
Figure. I.15. Essai de l'entonnoir	21
Figure I.16 - Résistance en compression de différents mélanges.....	22
Figure. I.17 Mesure de la résistance à la compression.....	23
Figure. I. 18 : Mesure de la résistance à la traction par flexion	25
Figure. I. 19 : Classe de consistance des bétons et affaissement	26
Figure I. 20: Approche générale de formulation des BAP.....	27
Figure I. 21 : Réduction du volume de gravillon à la moitié de sa compacité.....	30
Figure. I. 22 Les mécanismes de transport des BAP.....	32
Figure. I. 23 Mise en place aisée du BAP par un seul ouvrier	33
Figure II. 1 : Stratégies de traitement des déchets.....	38
Figure II.2 Valorisation des déchets	39
Figure II.3 déchet de faïence	49
Figure II.4 Déchets de démolition.....	50
Figure II.5 Déchet de Pneus	50
Figure II.6 déchet de Brique.....	51
Figure II.7 déchet de verre	52
Figure II.8 Les déchets de chantier	53

Figure II.9 différent type de déchet plastique.....	54
Figure II.10 différent type de déchet de bois	54
Figure III.1 Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique	58
Figure III.2. Courbes granulométriques de sable	59
Figure III.3 Essai d'équivalent de sable	64
Figure III.4 Courbes granulométriques de Gravier (3/8).....	67
Figure III.5 Courbes granulométriques de Gravier (8/16).....	68
Figure III.6 Appareil de l'essai Los Angeles	71
Figure III.7 Ciment Portland Composé (CPJ) MATINE	73
Figure III.8 Les copeaux métalliques	74
Figure.IV.1 Essai d'étalement.	83
Figure. IV.2. Exemple d'étalement d'un BAP	83
Figure. IV.3. Blocage des granulats par la présence d'armatures	84
Figure. IV.4 .exemple de l'essai la boîte en L	84
Figure. IV.5. Essai de la boîte en L.....	85
Figure. IV.6. Essai de la stabilité au tamis	86
Figure. IV.7. L'appareil de l'essai de compression.....	87
Figure.IV.8. L'appareil de l'essai de traction par flexion	88
Figure.IV.9. Formule de calcul de la résistance de traction.....	89
Figure. IV.10. Essai de la porosité	90
Figure. IV.11. Marteau de Schmidt ou Scléromètre	91
Figure. IV.12. Principe de fonctionnement d'un scléromètre	91
Figure. IV.13. Appareil d'ultra son	92
Figure. V.1. L'étalement en fonction de type de béton.....	95
Figure. V.2. L'indice de ségrégation en fonction de type de béton	96
Figure. V.3. Le taux de remplissage en fonction de type de béton	97
Figure .V.4 la masse volumique en fonction du type bétons (BAP).	97
Figure. V.5. La résistance à la compression en fonction de l'âge des bétons.....	98
Figure. V.6. La résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge des bétons	99
Figure. V.8. La vitesse en fonction de l'âge des bétons.....	100
Figure. V.9. L'indice sclérométrique en fonction de l'âge des bétons.....	100

Introduction générale

Introduction générale

Le béton est l'un des matériaux les plus utilisés dans le monde de la construction et son utilité pour la construction dans le monde grandissent chaque année à grande échelle.

Afin de construire des structures permanentes, il est nécessaire de plier la qualité du béton et également d'assurer la bonne position pour éviter une éventuelle défaillance structurelle due à la complexité des formes d'ingénierie telles que les coudes, cela rend le béton commun entre ces types de structures très difficile

L'idée de produire du BAP, qui s'étale sans faire vibrer les moules, est une solution intéressante. Cette nouvelle production de béton n'est plus primaire, car il possède une résistance à la compression, mais avec toutes ses nouvelles propriétés rhéologiques.

Le BAP se caractérise par une grande fluidité et une capacité d'étalement élevée avec stabilité et assure également de bonnes performances mécaniques. Du fait de l'augmentation des activités du bâtiment et des travaux publics depuis quelques décennies, on constate un afflux croissant du volume des déchets issus des chantiers l'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais. La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique [1]

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer son traitement. Il s'agit donc de 'mesurer pour connaître et connaître pour agir'. L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. Les déchets peuvent être injectés directement dans plusieurs domaines, notamment le secteur de la construction, qui s'intéresse de plus en plus à la valorisation des déchets.

L'objectif de cette étude est de faire une synthèse bibliographiques sur les bétons autoplaçants et la valorisation des déchets métalliques en plus une étude expérimentale pour évaluer les propriétés rhéologiques d'un béton autoplaçant formulé et renforcé par des copeaux métalliques afin de voir l'influence de ces copeaux sur les propriétés du béton autoplaçants à l'état frais et l'état durci .

Introduction générale

A cet effet ce mémoire est divisé en cinq chapitres comme suit :

Le premier chapitre : Revue Générales Sur Le Béton Autoplaçant présente une synthèse bibliographique sur les BAP d'un point de vue générale. Les informations présentées relatent plusieurs aspects concernant la caractérisation des propriétés intrinsèques aux BAP. Les particularités de la composition des BAP et leur caractérisation à l'état frais (essais spécifiques) sont abordées

Le deuxième chapitre: est consacré à la valorisation des déchets, leurs natures et leurs provenances ainsi les différents déchets utilisés en génie civil principalement dans l'élaboration des bétons et des ciments composés.

Le troisième chapitre: est destiné à la caractérisation des matériaux utilisés, dont nous présentons les caractéristiques chimiques, physiques, et mécaniques (Ciment, filler, superplastifiants, copeaux métalliques, sable et gravier) et à l'étude expérimentale, dans laquelle nous présentons les matériaux et le matériel utilisé dans notre travail.

Le quatrième chapitre : est la partie expérimentale, où on s'intéresse à la formulation des bétons autoplaçant, à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux.

Le Cinquième chapitre : est consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude. Ainsi que les propriétés mécaniques et physiques d'un BAP et BAPCM.

Enfin, une conclusion générale, qui résume les principaux résultats obtenus.

Chapitre I: Etude Bibliographique Sur le Béton Autoplaçant (BAP)

I.1. Introduction:

Les bétons autoplaçants (BAP, ou SCC, en anglais, self compacting concrete) ont été utilisés pour la première fois au Japon vers la fin des années 1980 afin d'améliorer la rentabilité de la construction, d'assurer constamment une mise en place correcte avec un béton de qualité et de diminuer les nuisances sonores. [1]

Ces bétons se développent maintenant en Europe et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques : possibilité de bétonner des zones fortement ferraiillées ou à géométrie complexe et obtention d'une meilleure qualité du parement (pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers) d'une part, diminution du temps et de personnel lors de la mise en place et réduction des coûts des processus industriels, d'autre part.[1]

Cette partie présente un aperçu détaillé sur le béton autoplaçant en tant que nouveau matériau. Il expose d'abord l'historique de leur développement ainsi que leur définition, ce chapitre fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des BAP et les caractéristiques à l'état frais et durci, finalement, il met en relief les innovations et les avantages apportés par les BAP.

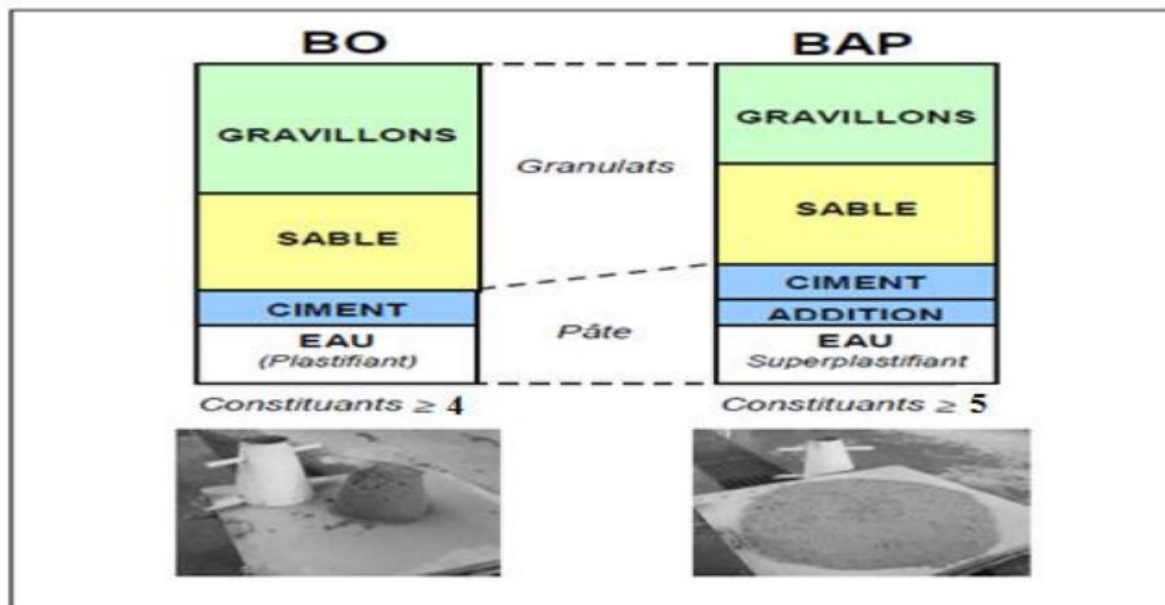


Figure. I.1. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP [22].

I.2. Historique de béton Autoplaçant:

Pendant plusieurs années commençantes en 1983, le problème de la durabilité des structures en béton était un sujet d'intérêt majeur surtout au Japon, il est considéré comme un problème majeur auquel la société japonaise fait face. Surtout que le nombre d'ouvriers qualifiés dans la construction n'a cessé de diminuer, engendrant une perte de connaissance, notamment dans les techniques de vibration du béton [3].

L'utilisation de béton très fluide, ne nécessitant pas d'apport d'énergie extérieure pour le serrage, est apparue comme solution possible à ce problème. La nécessité de tel sorte de béton est proposé par OKAMURA en 1986, et en 1988, Ozawa a réussi de développer le 1er prototype du béton auto-plaçant BAP. Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2ème Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande). Trois années plus tard, en Mai 1992, au 4ème Congrès International CANMET & ACI à Istanbul, l'intervention de K. OZAWA a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton [4].

Dans les dernières années, le BAP a été développé un peu partout dans le monde, et les données disponibles à leur sujet commencent par conséquent à affluer dans la littérature. En France les premières expérimentations remontent à 1995. Après une phase de recherche développement menée dans le cadre du Projet National, les BAP s'affirment aujourd'hui comme une technique porteuse.[7] En Europe, ont formé un grand consortium en 1996 pour s'embarquer à un projet de Aux USA, le BAP a gagné un très grand intérêt surtout de la part des industries du béton développement du BAP et leur application. Et dans les dernières années, un certain nombre de ponts, de tunnels ont été construits.[7]

préfabriqué, ils ont commencés à l'appliquer dans les projets commerciaux, puis l'application a été étendue vers les ponts.[7]

Donc, les bétons auto-plaçant (BAP) marquent une nouvelle étape de progrès dans l'histoire du matériau béton.[7]

I.3. Définition du Béton Autoplaçant :

Un béton auto-plaçant (BAP) est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et

conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration [4].

Le béton auto plaçant (dénommé aussi auto compactant) est défini comme suit dans l'Annexe nationale NA de la norme SN EN 206-1 :

Le béton frais est appelé auto-plaçant lorsqu'il se compacte suffisamment grâce à son poids propre tout en ne présentant pas de ségrégation. Le BAP et le béton vibré se différencient par les propriétés du béton frais et le mode de mise en œuvre [5].

Le béton auto compactant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage). Les propriétés caractéristiques de ce béton sont les suivantes :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation (comme du miel),
- désaération du béton pendant son écoulement,
- excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de réservations, d'incorporés et de ferrailage dense,
- Le dispendieux et fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé [6]

I.2. Les Principaux constituants des BAP:

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, il convient de porter une attention particulière au type de liant ainsi qu'à la granulométrie des gravillons si l'on désire obtenir de meilleures qualités de béton. Généralement, on peut diviser les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques.[8]

I.2.1. Matériaux de base:

Les granulats, le ciment et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton. Ils sont qualifiés ainsi puisqu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP.[8]

I.2.2. Les granulats:

Le choix des granulats pour les BAP est très important. Il s'agit en fait de déterminer leur granulométrie permettant de minimiser le plus possible le volume d'air dans le but d'améliorer les propriétés du béton. Les granulats se divisent principalement en deux catégories soient les gravillons ($\Phi > 5 \text{ mm}$) et le sable ($\Phi \leq 5 \text{ mm}$).

Dans le cas des BAP, les gravillons sont essentiellement caractérisés par leur dimension maximale, cette dimension étant principalement limitée à 20 mm afin d'empêcher le risque de blocage lors de la mise en place. Les gravillons roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. En outre, le sable recommandé à la confection des BAP doit comporter des quantités assez fortes d'éléments fins ($\Phi \leq 0.125 \text{ mm}$), dans la plage de 4 à 8 %. Ainsi, ses grains passants au tamis de 2 mm doivent être compris entre 38 et 42 % [20]. Cette optimisation de sable permet d'améliorer le comportement rhéologique des BAP, mais elle entraîne un surcoût supplémentaire.

I.2.3. 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. Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont d'une grande importance, mais elles sont souvent transparentes à l'utilisateur puisque celles-ci sont effectuées à la cimenterie et sont des critères d'assurance qualité.[8]

I.2.4. 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. [8]

I.2.5. Additions minérales:

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux. De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions

continuent d'être utilisées. Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP [8]

I.2.6. Les fillers calcaires:

Les fillers calcaires, matériaux fins dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 μm , sont obtenus par broyage ou par pulvérisation des roches calcaires naturelles ou non. Ils sont généralement considérés comme une addition inerte, mais le fait qu'ils présentent certaines propriétés hydrauliques n'est pas en soi désavantageux, de même que s'ils présentent une réaction avec certains composés développés au cours de l'hydratation [9]. Pour pouvoir être considérés comme un constituant principal du liant, les fillers calcaires doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO_3 supérieur à 75 % en masse [10].

I.2.7. Les superplastifiants:

Ce sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous forme de liquide. Ils sont composés de longues molécules organiques de masse élevée.

Les plus couramment utilisés sont les sels de sodium ou de calcium du poly naphthalène sulfoné, et les sels de sodium de la poly mélamine sulfonée. Les copolymères acrylate-ester ou polyacrylates ont récemment été introduits sur le marché.

La figure (1.2) propose une représentation schématique des molécules de base qui constituent ces polymères [11]

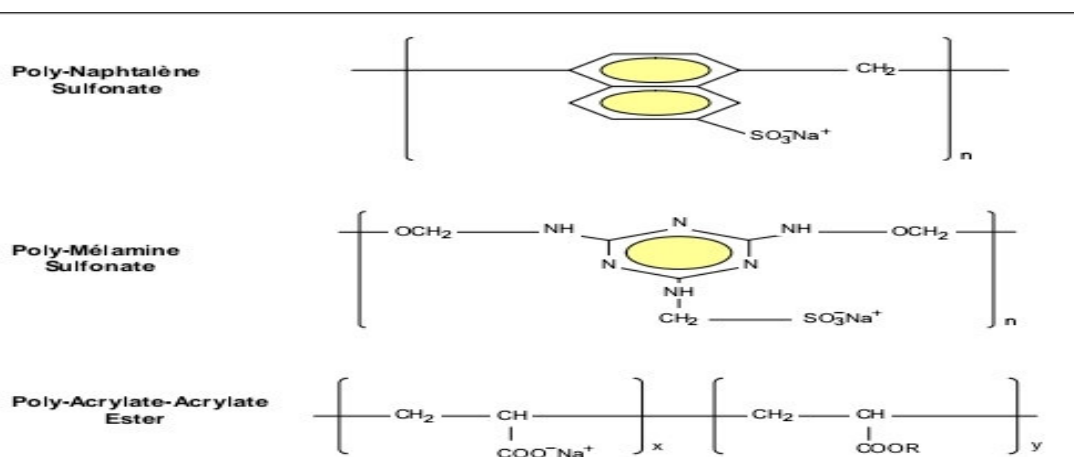


Figure I.2 : Représentation schématique des molécules de base superplastifiants les plus connus [11].

Le mode d'action des superplastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit [12] :

Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charges opposées (positives et négatives) sur leur surface, tendent à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent, cette floculation piège un certain volume d'eau entre les grains de ciment (eau captive) qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton (figure 1.3).

Les superplastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libère de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité (figure 1.4).

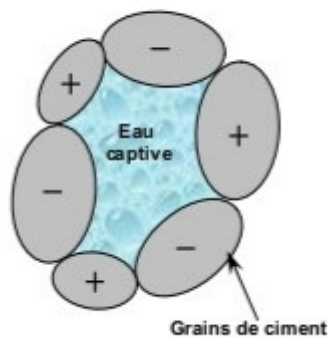


Figure I.3 : Pâte de ciment non adjuvantée

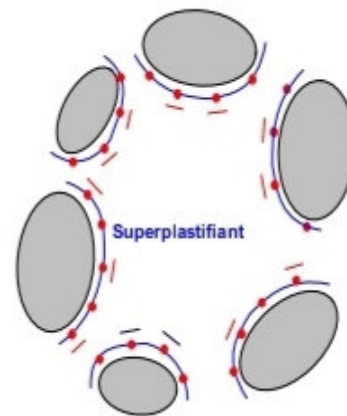


Figure I.4 : Pâte de ciment additionnée
d'un superplastifiant

Tableau I.1 : Les propriétés essentielles des BAP frais: [2]

Pour une excellente déformabilité	L'augmentation de la fluidité de la pâte ; Par l'utilisation de superplastifiants haut réducteurs d'eau ; Par l'adoption d'un optimal rapport eau/liant ; La réduction des frictions granulaires ; En diminuant le volume de gros granulats (un volume de pâte élevé) ; En utilisant un liant de granularité continue
Pour une bonne stabilité	La réduction des séparations des particules solides ; Par la limitation de la teneur en granulats ; Par la réduction du diamètre maximal des granulats ; Par l'augmentation de la cohésion et de la viscosité ; L'utilisation d'agent colloïdal (agent de viscosité) ; La minimisation du ressuage ; En adoptant un petit dosage en eau ; En adoptant un petit rapport eau/liant ; En utilisant des fines à grande surface spécifique
Pour un moindre risque de blocage	Accroître la cohésion pour réduire la ségrégation des granulats ; l'adoption d'un petit rapport eau/liant ; Utilisation d'agent colloïdal ; L'utilisation d'un petit volume de granulats ; Choisir un petit diamètre maximal des granulats

I.3. Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP:

La caractérisation du béton à l'état frais peut se faire grâce à l'étude des propriétés rhéologiques fondamentales telles que le seuil de cisaillement ou la viscosité plastique.

La rhéologie donne les relations entre contraintes et déformations élément de volume, en tenant éventuellement compte de leur histoire et des valeurs actuelles de leur dérivée par rapport au temps. Ces relations, dites de comportement, font correspondre les déformations d'un élément de volume aux contraintes qui lui sont imposées.

Le comportement rhéologique d'un matériau est dit viscoplastique si son écoulement ne se produit qu'au-delà d'une certaine valeur des contraintes appliquées, appelée seuil de cisaillement, τ_0 .

Le fluide est considéré comme bigamie si la courbe d'écoulement est une droite, qui a pour équation :

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \gamma$$

Avec τ la contrainte de cisaillement (Pa), τ_0 le seuil de cisaillement (Pa), η_p la viscosité plastique ($\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) et γ la vitesse de déformation ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).[18]

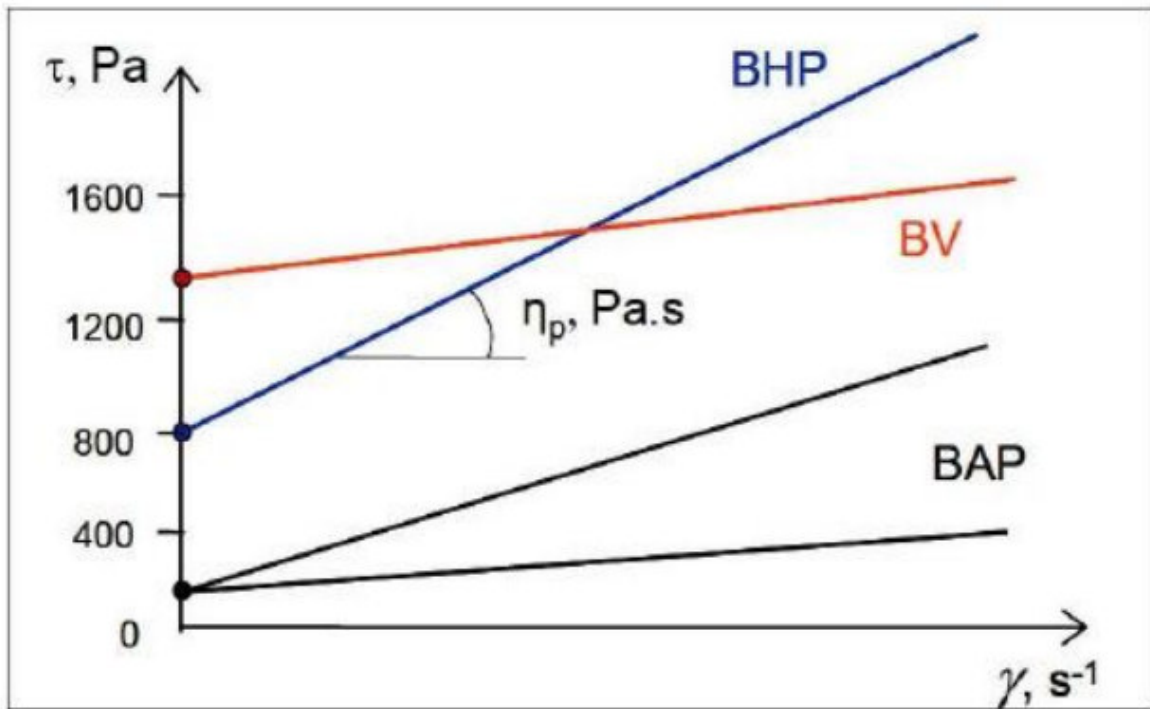


Figure. I.5. Exemples de comportements rhéologiques pour différents types de béton [15].

En ce qui concerne les bétons autoplaçants, des auteurs [19] ont montré que leur équation de comportement suit le modèle de Herschel-Bulkley dont l'équation de comportement est la suivante :

$$\tau = \tau_0 + a \cdot \gamma \cdot b$$

Où

a : paramètre de viscosité

b : paramètre rhéologique. [2]

I.3.1. Essais de caractérisation des BAP :

I.3.1.1 .Capacité de remplissage:

Le béton autoplaçant doit pouvoir remplir les coffrages les plus densément armés, et ce, sans nécessiter d'intervention humaine pour aider à la mise en place.

Cette caractéristique, nommée "capacité de remplissage", dépend de deux facteurs la déformabilité et la stabilité. [15].

En effet, le béton doit pouvoir se déformer, sans qu'il y ait séparation du mélange, pour contourner les nombreux obstacles que représente une armature très dense. Il doit également faire preuve d'une bonne stabilité, c'est-à-dire présenter très peu de ressuage et résister à la segmentation afin d'éviter le blocage de l'écoulement que l'accumulation de granulats vis-à-vis des barres d'armatures peut causer.

L'essai consiste à déverser 30 l de béton autoplaçant dans un contenant cubique dont le fond contient un grillage ayant un maillage de 30 mm d'ouverture.

Une trappe empêche le béton de s'écouler avant le moment de l'essai. On applique ensuite une pression uniforme sur la surface du béton et on ouvre la trappe. Lorsque l'écoulement cesse, on mesure la quantité de béton ayant traversé le grillage.

Les essais visant à évaluer la capacité de remplissage ont généralement comme principe d'évaluer l'habileté du béton à passer à travers une série de barre d'armatures en mesurant la quantité de béton ayant franchi ces obstacles.[2]

I.3.1.2. Essai de capacité de remplissage:

Cet essai ressemble au précédent, en étant cependant plus objectif et plus pratique. Il s'agit d'une boîte transparente de 500 mm de largeur par 300 mm de hauteur et de profondeur. On laisse couler le béton frais à travers un entonnoir, puis celui-ci doit passer à travers un réseau de barres d'armatures de 16 mm de diamètre et espacées de 50 mm centre à centre. En calculant l'aire occupée par le béton par rapport à la surface totale de la boîte, on trouve un coefficient de remplissage défini comme étant :

$$F = \frac{A}{(A+B)}$$

Où

A : aire occupée par le béton (mm²)

B : aire non occupée par le béton (mm²).[2]

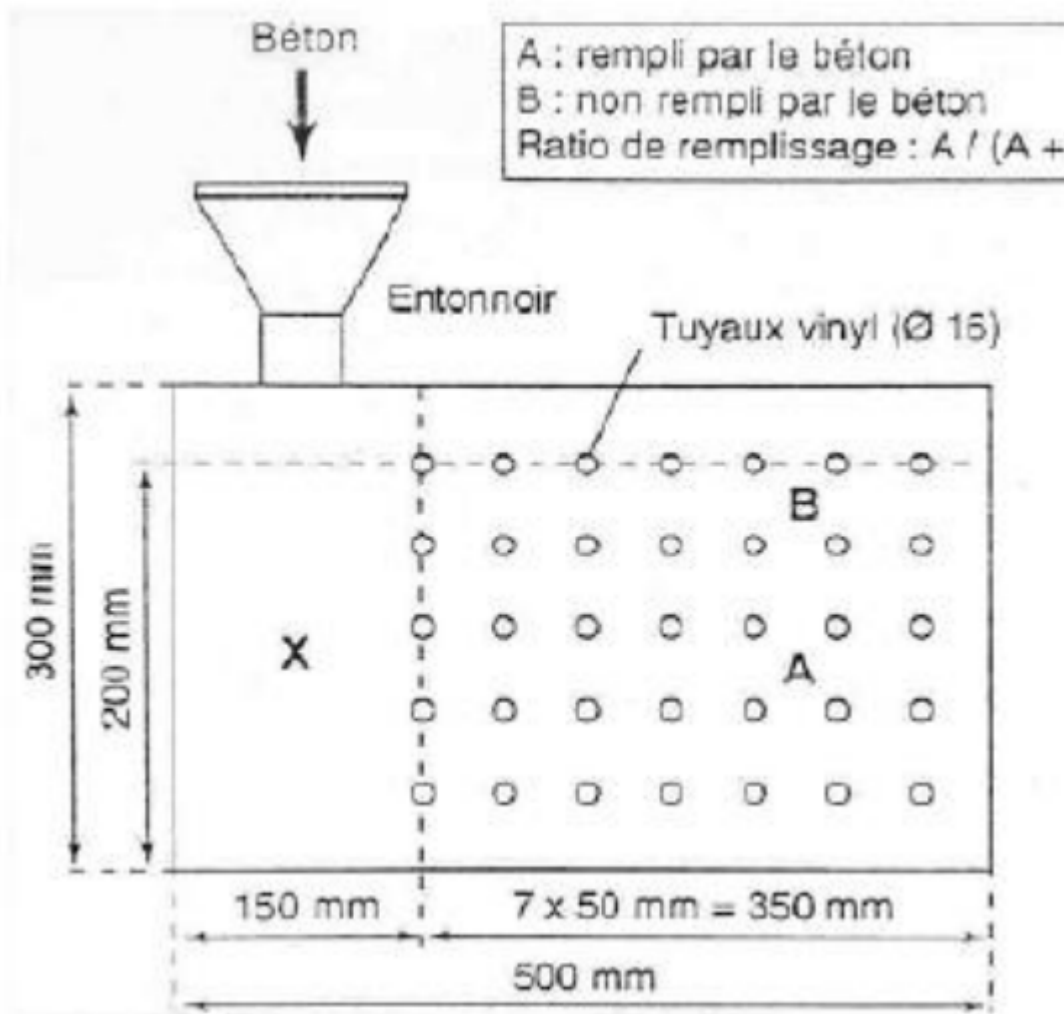


Figure. I.6. Essai de capacité de remplissage [16].

I.3.1.3. Essai du tube en U :

Le tube en U (figure I.7) est composé de deux parties R1 et R2 séparées par une trappe. L'essai consiste à remplir la partie R1 puis à ouvrir la trappe et laisser le béton s'écouler librement. Après écoulement on mesure la hauteur de remplissage dans la partie R2, celle-ci doit être supérieure à 30cm pour un BAP. [2]

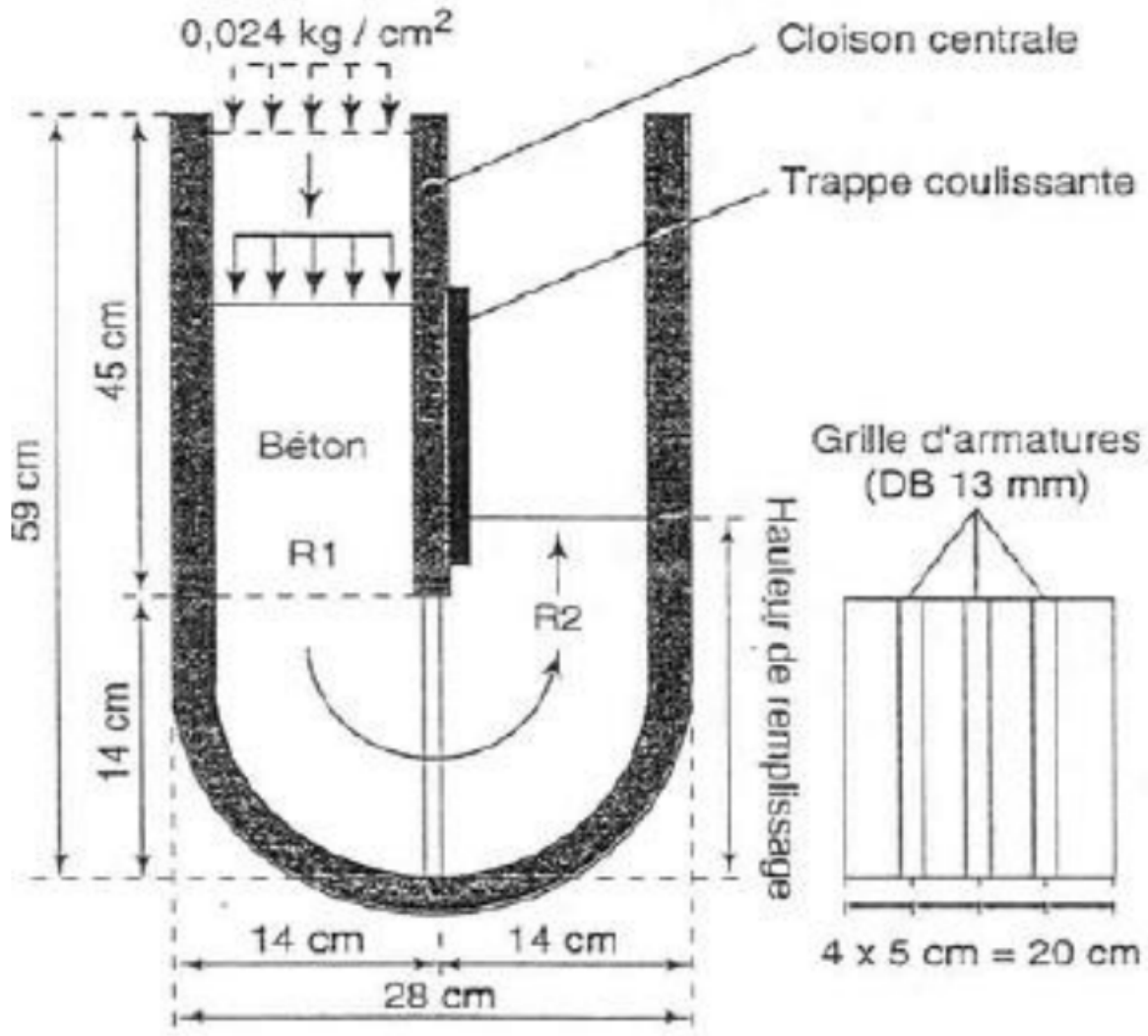


Figure. I.7. Essai du tube en U.[2]

I.3.1.4. Essai d'étalement (slump flow) :

L'essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams (figure I.8). Cependant, l'affaissement étant toujours supérieur à 25 cm, on mesure, en plus, le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute, ainsi que le temps nécessaire à l'obtention d'une galette de 50 cm de diamètre. L'essai au cône d'Abrams donne une indication sur le seuil de cisaillement du béton et sa capacité à s'auto compacter en milieu non confiné. Une observation visuelle permet également de constater si une ségrégation horizontale a lieu ou non. En effet, l'essai au cône d'Abrams ne donne qu'une image partielle du comportement rhéologique du béton [16, 17].

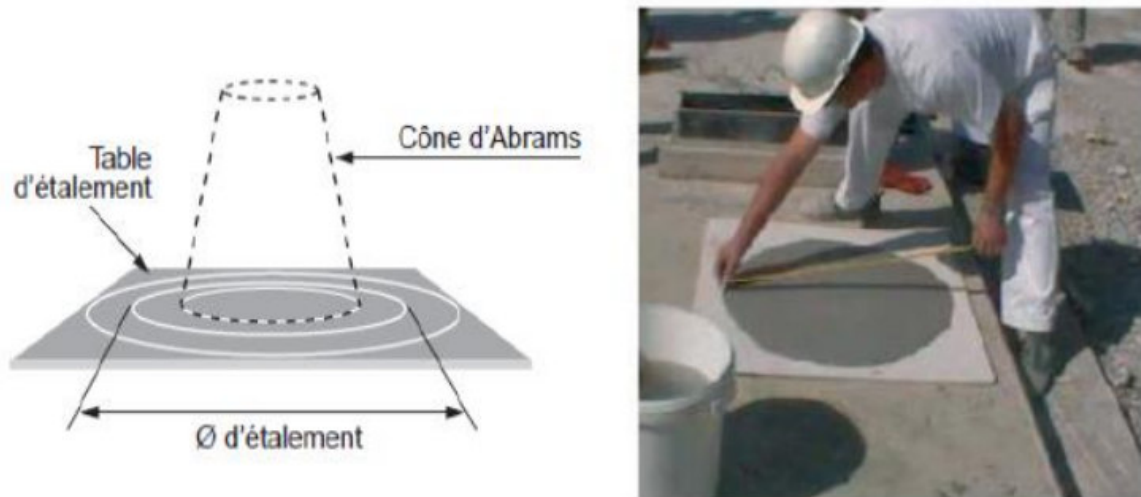


Figure. I.8. Mesure de l'étalement des BAP.



Figure I.9 Détermination de l'étalement.

I.3.1.5. B- Essai de boîte en L :

Cet essai est destiné à tester la facilité de l'écoulement du matériau en milieu confiné. On remplit la partie verticale de la boîte en L de béton, on mesure la différence de la hauteur dans les parties verticales et horizontales et on exprime le résultat en termes de taux de remplissage H_2/H_1 comme il est montré dans la figure I-9.[2]

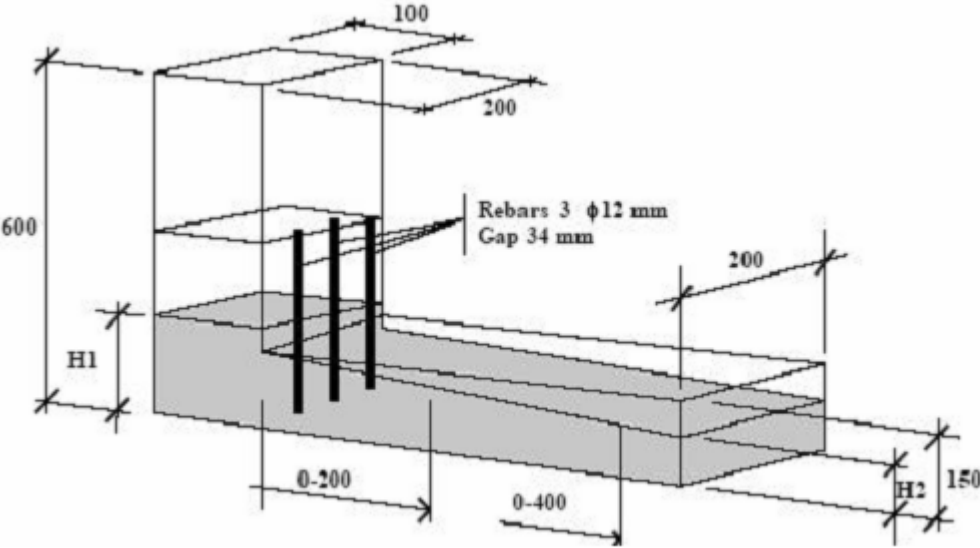


Figure I.10 - Représentation schématique de l'essai à la boîte en L .



Figure I. 11 Représentation de l'essai à la boîte en L

I.3.1.6. Stabilité au tamis :

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Puis au bout de 2 minutes, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis.[2]

Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 et 20 %. la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante:

- $0 \leq \pi \leq 15 \%$ stabilité satisfaisante.
- $15 \% < \pi \leq 30 \%$ stabilité critique, l'essai à refaire in situ.
- $\pi > 30 \%$ stabilité très mauvaise, béton inutilisable.

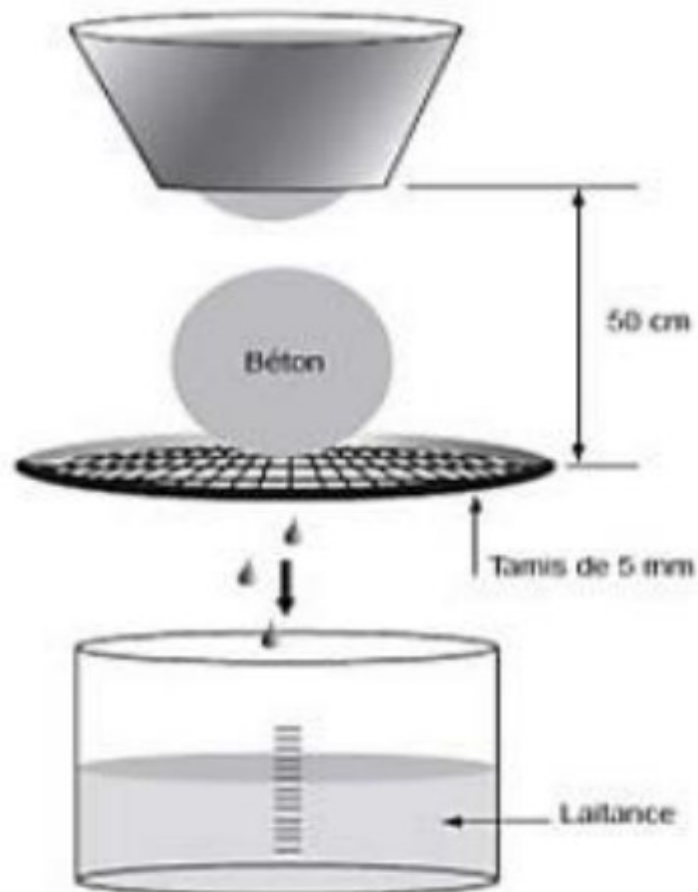


Figure. I.12. Essai de stabilité au tamis.[2]



Figure I. 13 - Représentation de l'essai de stabilité au tamis

Tableau I.2 - Valeurs préconisées pour les essais A.F.G.C

Etalement	de 60cm à 75cm
H_2/H_1	≥ 0.8
Laitance	$\leq 15\%$

I.3.1.7. Essai d'étalement modifié (J-Ring) :

L'essai d'étalement modifié (J-Ring) fut développé au Japon et consiste à faire s'écouler le béton au travers de barres d'armature afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage. A cet effet, le béton s'écoule à partir du cône disposé au centre d'un anneau métallique. Sur cet anneau de 300mm de diamètre sont soudées des barres $\varnothing 16$ à 18 mm, espacées régulièrement d'environ deux fois et demi leur diamètre. Le béton autoplaçant satisfait pleinement aux performances recherchées de fluidité avec faible tendance à la ségrégation et d'enrobage complet des armatures, lorsqu'il s'écoule de manière uniforme au travers de cet anneau et lorsque la répartition des granulats paraît homogène, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'anneau.[2]

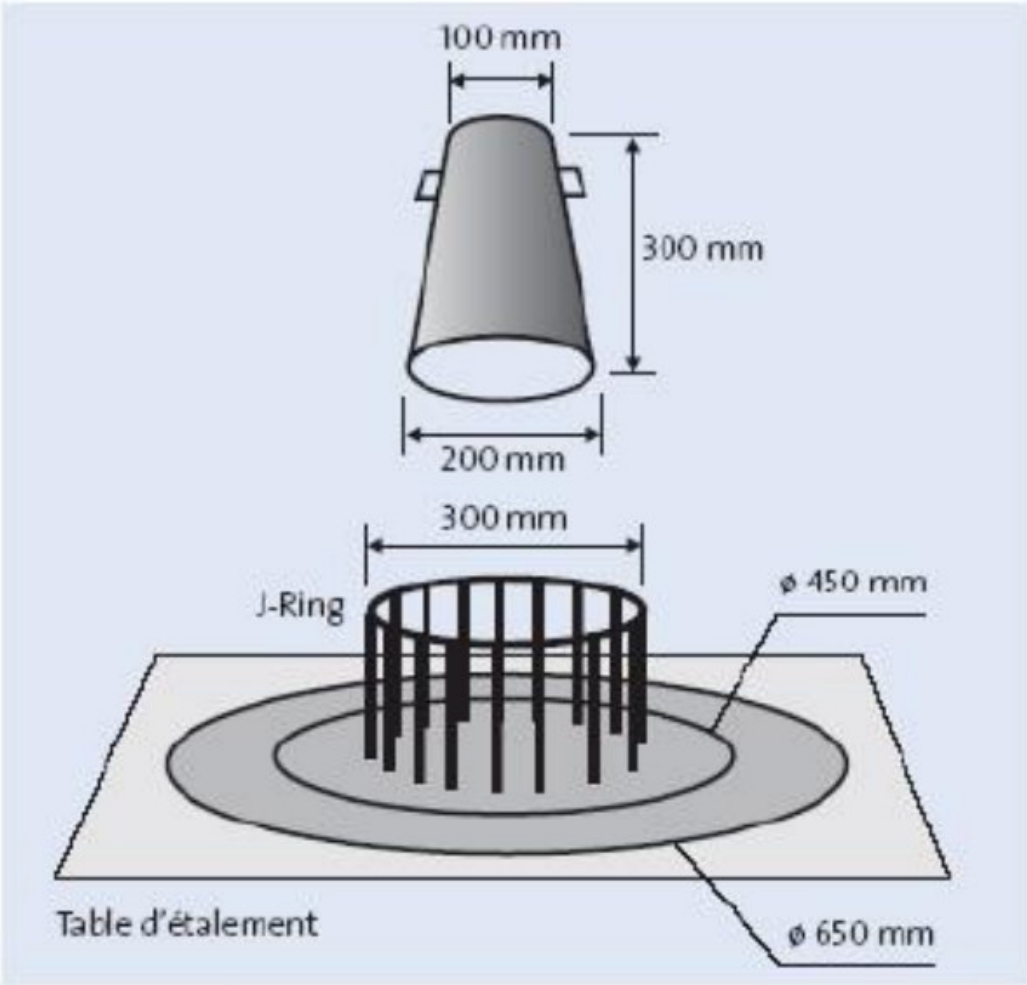
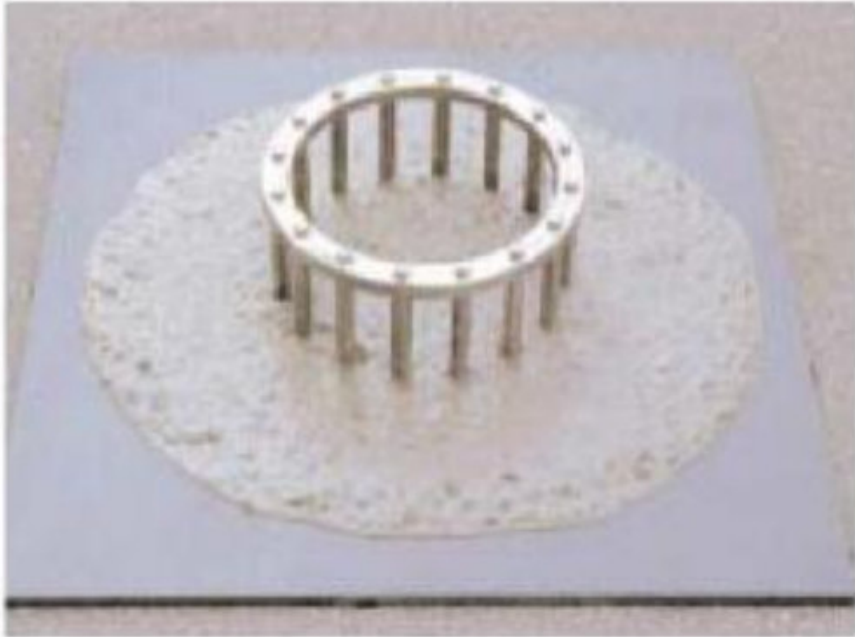


Figure. I.14. Dispositif de l'essai d'étalement modifié (J-Ring)[2]

I.3.1.8. Essai de V- funnel :

La ségrégation se définit comme une perte d'homogénéité du béton. Elle peut se reproduire lors d'un malaxage trop prolongé, en phase de transport, de mise en œuvre, voire même dans l'ouvrage après consolidation. La prévention de la ségrégation doit se conjuguer au niveau de la phase de formulation du matériau, et à celui de sa mise en œuvre. Pour les bétons autoplaçants, le contrôle de la ségréabilité est au cœur du processus de formulation. A côté de l'essai de la boîte en L, il est nécessaire de pratiquer un essai destiné à vérifier la non ségrégation statique du matériau, qui se manifesterait par une descente de la phase la plus grossière du matériau, accompagnée par une remontée du mortier.

La stabilité des BAP est déterminée par l'essai de l'entonnoir. Généralement, on peut distinguer deux types d'appareillage : les entonnoirs à section circulaire et ceux à section rectangulaire. L'essai est censé mesurer la résistance à la ségrégation du béton et donner un indice sur la déformabilité. Il simule l'écoulement restreint du béton à son passage à travers des zones confinées. Après le remplissage de l'entonnoir par le béton, on ouvre la porte de décharge au fond et on mesure le temps de vidange total. Le temps d'écoulement nécessaire pour qualifier un BAP dépend de la pente d'écoulement. Dans le cas de l'entonnoir de la figure, on recommande un temps d'écoulement inférieur à 6 secondes.[2]

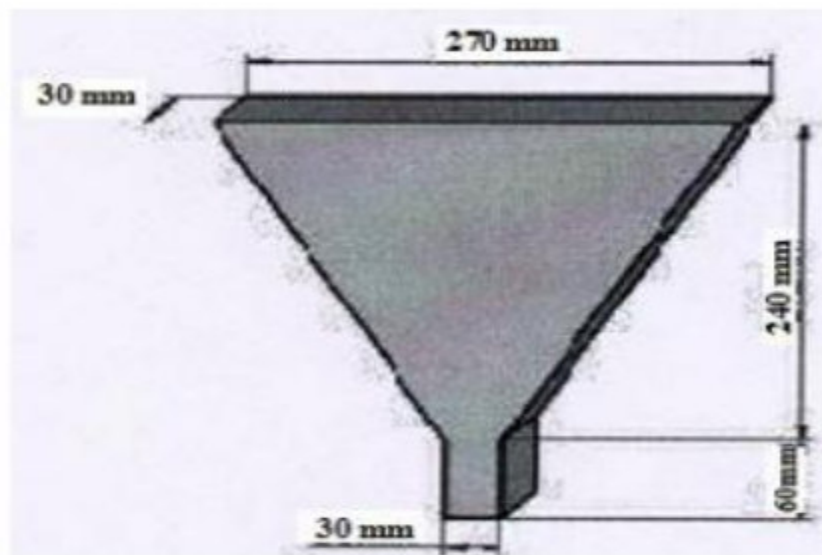


Figure. I.15. Essai de l'entonnoir [20, 21].

I.4. Propriétés des BAP à l'état durci :

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation :

- Les essais de compression;
- Les essais de traction par flexion;[2]

I.4.1. Essai de compression :

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cubiques $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ conformément aux prescriptions de la norme Ce test fournit la force de compression [N] qui génère la rupture de l'échantillon (Figure-I-13). La contrainte de compression à la rupture [Pa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée.[14]

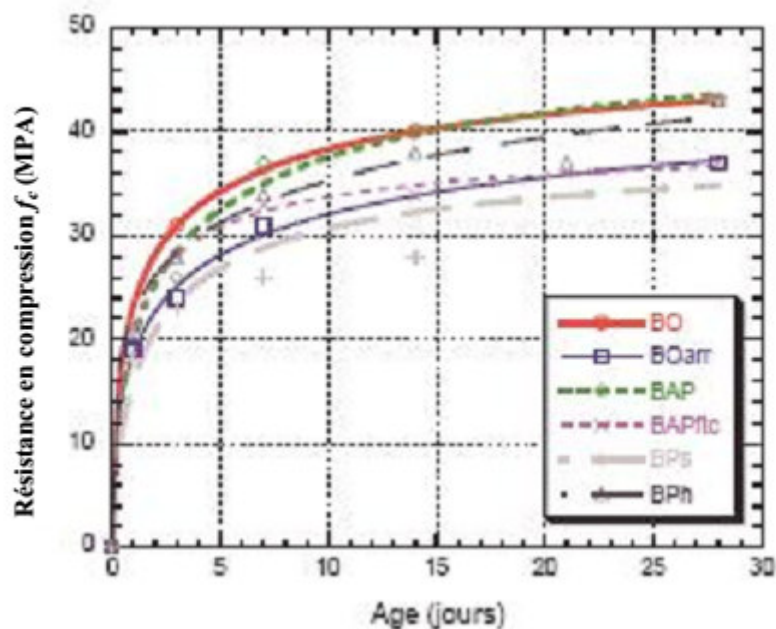


Figure I.16 - Résistance en compression de différents mélanges.[2]



Figure. I.17 Mesure de la résistance à la compression.[2]

I.4.2. Essai de traction par flexion :

Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans les éléments des ouvrages (Figure I.14). Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont prismatiques de dimensions $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$. La résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance des matériaux suivante :

$$S = \frac{M_f \cdot a}{2 \cdot I} \quad (\text{I. 4})$$

Avec le moment de flexion :

$$M_f = \frac{F \cdot L}{4} \quad (\text{I. 5})$$

Où

F : est la charge de rupture,

L : la portée,

I : l'inertie de flexion,

a: le côté du prisme.[2]



Figure. I. 18 : Mesure de la résistance à la traction par flexion [2]

I.5. Les avantages des BAP :

Les avantages des BAP sont :

- Très fluides (Classe de consistance S5 au sens de la norme NF EN 206-1) ;
- Absolument homogènes ;
- Mis en œuvre sans vibration ;[2]

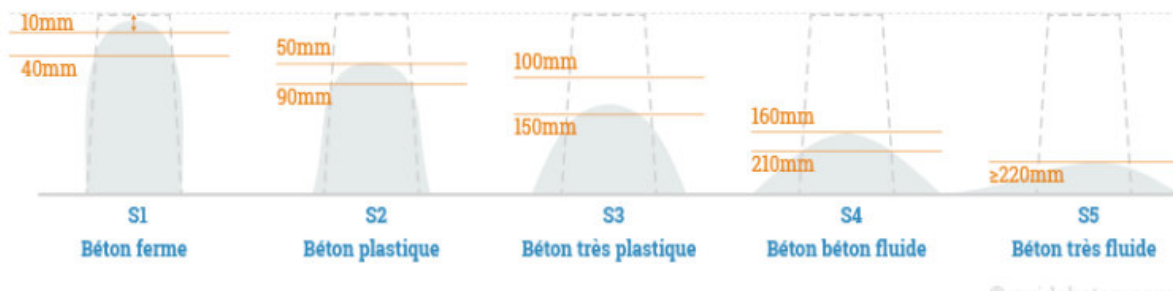


Figure. I. 19 : Classe de consistance des bétons et affaissement [2]

Ils présentent des résistances et des durabilités analogues à celles des bétons traditionnels ou à celles des Bétons à Hautes Performances mis en œuvre par vibration.

Pour être utilisés en structure, ils doivent être conformes à la norme NF EN 206-1. Les prescriptions et normes de conception et de dimensionnement des structures s'appliquent aux BAP ; Avec comme principaux objectifs :

- La suppression des opérations coûteuses en main d'œuvre (vibration, tirage à la règle, ragréage, etc.) ;
- L'obtention d'une qualité, d'une régularité et d'une durabilité des bétons encore plus grandes;
- Le coulage facile de structures complexes et souvent fortement ferrillées.
- L'allongement des temps d'ouvrabilité;
- L'amélioration de la qualité esthétique des parements.
- L'augmentation des cadences de production et de la productivité des chantiers et des usines;
- La réduction de la pénibilité des tâches des ouvriers;
- La réduction des nuisances sonores sur les chantiers;
- L'obtention d'une parfaite planéité des hourdis et des dalles;
- La fabrication de ces bétons dans la majorité des centrales du réseau BPE et des usines de préfabrication à partir de matériaux courants disponibles localement;

- La diminution des reprises de bétonnage.[2]

I.6 Méthode de formulation de béton:

Formuler un béton, c'est trouver un arrangement des divers constituants répondant à un cahier des charges donné. Dans les cas courants, le cahier des charges concerne la résistance à la compression à 28 jours et la consistance, c'est-à-dire l'affaissement au cône d'Abrams. Pour des chantiers plus spécifiques, d'autres propriétés peuvent être demandées, comme, par exemple, une prise retardée, une résistance élevée au jeune âge, ou un dégagement de chaleur minimal.

Pour l'instant, il n'existe pas de méthode générale de formulation pour le BAP. Cependant, plusieurs méthodes de formulation ont été développées dans des pays différents.

(Okamura et Ouchi) ont premièrement proposé une méthode empirique de formulation du BAP au Japon..[23] Plusieurs approches de formulation des BAP ont été élaborées à travers le monde (approche japonaise, approche suédoise, approche du LCPC, etc.) pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton.[24]

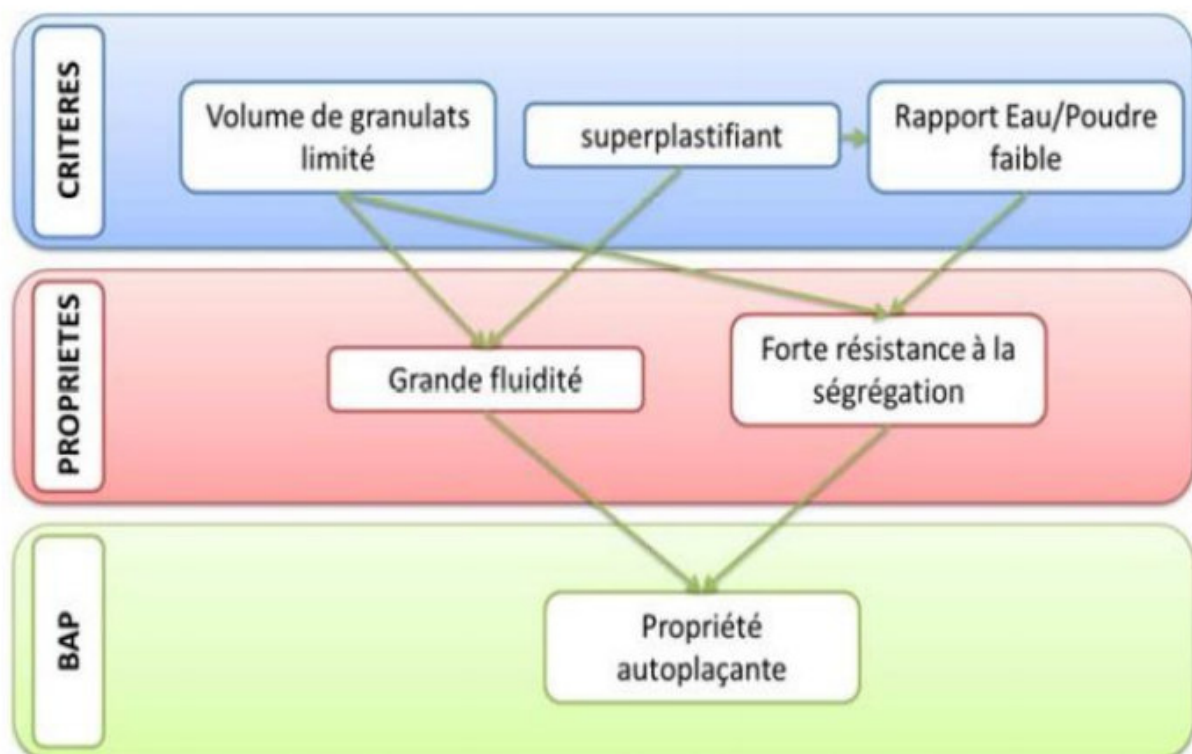


Figure I. 20: Approche générale de formulation des BAP.[25]

I.6.1. Méthode Japonaise :

Méthode basée sur l'optimisation du mortier:

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants:

a) Dosage des gravillons:

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

A défaut d'indication, nous avons choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC. La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0,57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/10 mm, le volume du gravillon est donc posé à 285 l/m³.

Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14 mm, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14.

b) Dosage du sable:

Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

c) Dosage du liant : La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m³).

Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

d) Dosage de l'eau et du super plastifiant :

Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. Nous réalisons des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.

I.6.2. Méthode Suédoise:

La méthode suédoise est proposée par Petersson et al en 1996. Elle est basée sur l'étude effectuée par Tang term sirikul et al en 1995. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de

formulation. Le rapport (G/S) final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées.

Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat.

I.6.3. Méthode Française :

Méthode française proposée par De Larrard et al en 1994, au LCPC. Un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- ✓ Les distributions granulaires,
- ✓ Les proportions du mélange,
- ✓ La compacité propre,
- ✓ La densité apparente.

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante:

- ✓ La proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple);
- ✓ Le dosage, à saturation, du superplastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente;
- ✓ Le besoin en eau de ce mélange (en présence du superplastifiant) est déterminé.
- ✓ Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).
- ✓ La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104, la teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion (liant/filler) est maintenue constante. Les proportions (granulats/ phase liante) sont optimisées.

Une formulation de béton autoplaçant est donc proposée, basée sur les prévisions du modèle.

La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de

cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes. [24]

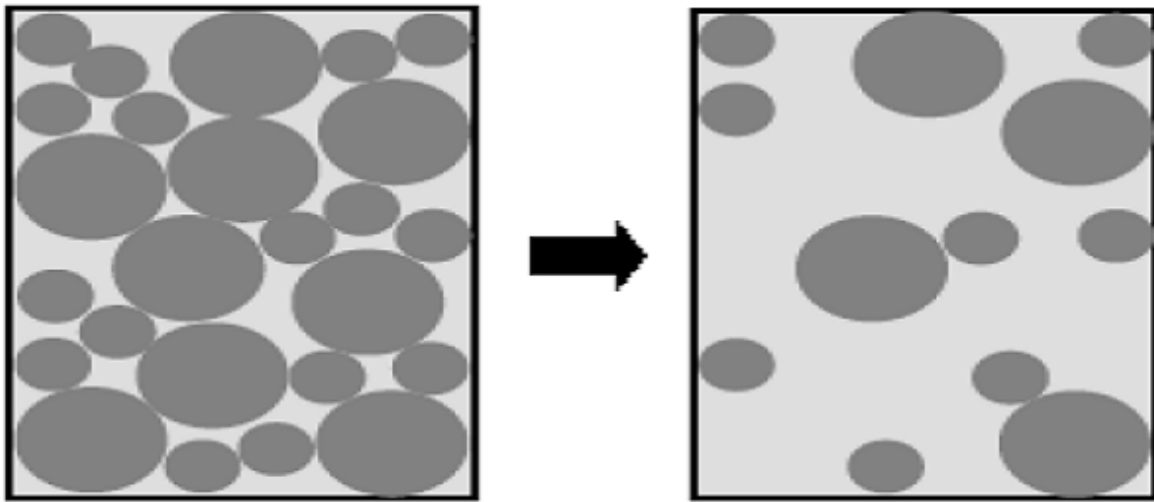


Figure I. 21 : Réduction du volume de gravillon à la moitié de sa compacité. [26]

I.7. Influence des paramètres de formulation sur les propriétés à l'état frais:

I.7.1. Rôle des adjuvants:

a) Utilisation de superplastifiants:

L'apparition des bétons autoplaçants et des bétons à Hautes performances (BHP) est fortement liée aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et plus particulièrement celui des superplastifiants (SP). L'action principale des superplastifiants est de défloculer les grains de ciment. L'ajout d'un superplastifiant aide à augmenter la fluidité.

Sugamata et al ont étudié l'influence de différents superplastifiants et de leurs dosages sur le maintien rhéologique dans le temps d'un mortier. Leurs résultats montrent que l'augmentation du dosage de superplastifiants n'a plus d'influence sur la fluidité du mortier à partir d'une certaine valeur. Cette caractéristique est maintenant bien connue.

Il s'agit du dosage à saturation, c'est-à-dire le dosage au-dessus duquel l'adjuvant ne permet plus de modifier de façon significative la fluidité du mélange. Actuellement, les superplastifiants sont donc utilisés à un dosage proche du dosage à saturation.[27]

b) L'utilisation d'agent de cohésion:

Ces produits, ont pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse.[28]

I.7.2. Rôle des fines:

Pour assurer une maniabilité suffisante, une fluidité importante et un meilleur arrangement granulaire tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les BAP contiennent une quantité de fines joue un rôle important dans la fluidité car ils réduisent les interactions entre les plus gros grains. Il est donc nécessaire dans le cas des BAP de remplacer une partie du ciment par des additions minérales. Différentes additions sont citées dans la littérature : cendres volantes, laitiers de hauts fourneaux, fumées de silice et filler calcaire.[29]

I.7.3. Autre paramètres de formulation:

a) Volume de pâte élevé:

Les BAP contiennent un volume de pâte important, typiquement de 330 à 400 l/m³, dont le rôle est d'écartier les granulats les uns des autres.

Le volume de pâte dans un BAP représente 35 à 45 % du volume total, alors que dans un béton traditionnel il est de 20 à 35 %. [28]

b) Volume de gravillons:

Il est possible d'utiliser des granulats concassés ou roulés pour la formulation des BAP. Toutefois, comme les gravillons sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée, il faut en limiter le volume. D'un autre côté, la présence de gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire du béton et donc de limiter la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et la résistance souhaitées. En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport (gravillon/sable) de l'ordre de 1 dans les BAP.[28]

I.8. Fabrication, transport et mise en place des BAP :

I.8.1. Fabrication :

Pour la fabrication d'un BAP, notamment pour l'introduction de ses différents constituants, on appliquera les mêmes procédures que celles recommandées dans le cas du béton vibré bien entendu en les adaptant aux conditions locales dans chaque cas particulier.

Une attention spéciale doit être accordée à l'humidité des granulats, dont les variations devraient être le plus possible limitées. Des sondes d'humidité dans les silos granulats sont vivement conseillées à cet effet, afin de permettre une adaptation automatique

de l'ajout d'eau dans le mélange .C'est la raison pour laquelle on se base généralement sur un temps de malaxage de 120 secondes. [30]

I.8.2. Transport des BAP :

En raison de sa fluidité élevée, le béton autoplaçant doit être transporté en camion malaxeur. Comme dans le cas d'un béton vibré, 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. [30]



Figure. I. 22 Les mécanismes de transport des BAP. [31]

I.8.3. Mise en place :

Par rapport au béton vibré, la mise en place du béton BAP est grandement facilitée et peut généralement être réalisée par une seule (Figure I-1-21) 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 favorisé par ce procédé il convient de fixer la hauteur de chute maximale du béton à 5m.

- 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. [30]



Figure. I. 23 Mise en place aisée du BAP par un seul ouvrier. [31]

- Pour réussir les ouvrages en béton autoplaçants il est capital d'appliquer scrupuleusement les recommandations de fabrication, de transport et de mise en œuvre.

I.9. Conclusion:

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage.

Chapitre I: Etude Bibliographique Sur le Béton Autoplaçant (BAP)

Il n'existe pas à ce jour une méthode de formulation du béton autoplaçant, 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' [AFGC], a émis des recommandations qui se limitent en trois essais : mesuré étalé ; essai de la boîte en « L » ; et l'essai de stabilité au tamis.

Ainsi, des bétons autoplaçants (BAP) ont été développés afin la mise en place soit réalisée sans vibrations, seulement sous l'effet de la gravité, d'où le qualificatif d'autoplaçants.

Chapitre II: VALORISATION DES DÉCHETS

II .1. Introduction:

Du fait de l'augmentation des activités du Bâtiment et des Travaux Publics depuis quelques décennies, on constate un afflux croissant du volume des déchets issus des chantiers. L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais. La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnemental et l'impact économique.[32] Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer son traitement. Il s'agit donc de «mesurer pour connaître et connaître pour agir ».

L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. « Toute personne qui produit ou détient des déchets, dans des Conditions de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits et des odeurs et, d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement, est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination conformément aux dispositions du Code de l'Environnement, dans des conditions propres à éviter les dits effets » [33]

Dans ce chapitre, nous allons parler sur la gestion des différents types de déchets et les techniques de traitement ou d'élimination ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine de génie civil.

II.2. Recyclage des déchets:

II.2.1. Définition d'un déchet:

Selon l'article L541-1-1 du Code de l'Environnement, un déchet est défini comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». En fonction de leurs types et de leurs origines, les déchets ont un niveau de dangerosité variable qui, dans certains cas, peut être préjudiciable à l'homme et à l'environnement. [34]

II.2.2. Les déchets peuvent être classés en trois catégories :

- Les déchets dangereux, qui présentent une ou plusieurs propriétés dangereuses (comburant, inflammable, explosif, corrosif, cancérigène...) (décret n° 2002-540 du 18 avril 2002), [32]
- Les déchets non dangereux, qui ne figurent pas dans le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002, [32]
- Les déchets inertes, qui ne sont pas dangereux et ne contiennent pas de constituants évolutifs. Ils « ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine » (directive n° 1999/31/CE). Ils proviennent essentiellement du secteur du BTP.

Anciennement appelés déchets ménagers et assimilés (DMA) (arrêté du 19 janvier 2006), les déchets non dangereux (DND) regroupent tous les déchets, dont l'innocuité est garantie, en provenance de l'intégralité des activités économiques et des ménages. [32]

II.2.3. Définition de recyclage:

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qui intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés. Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets,
- réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- Le recyclage apporte une contribution importante à la baisse des quantités de déchets à éliminer par enfouissement et par incinération, mais il n'est pas suffisant pour contrer l'augmentation de la production des déchets ou y suffit à peine. [35]

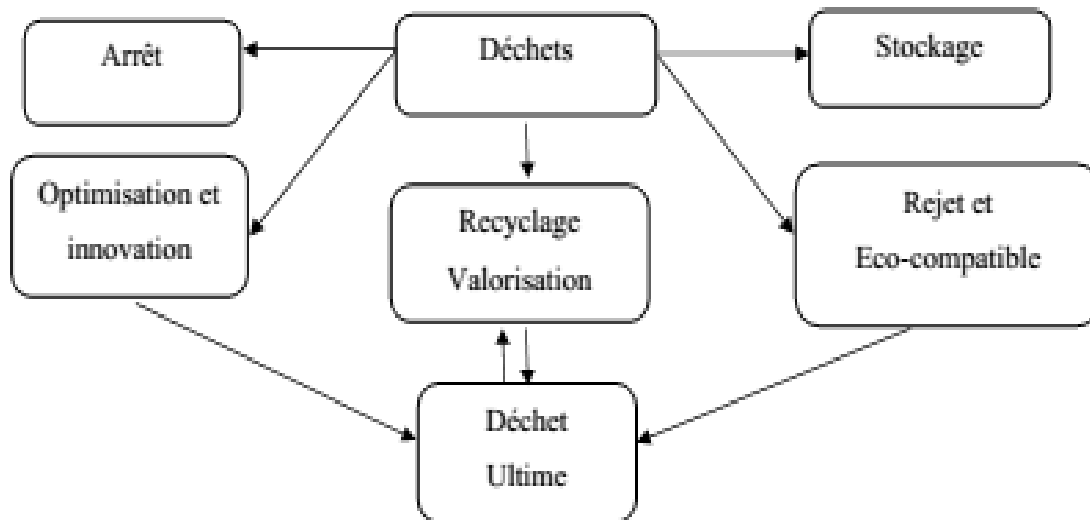


Figure II. 1 : Stratégies de traitement des déchets. [36]

Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques, elles articulent autour des objectifs généraux suivants :

- ❖ Valorisation énergétique.
- ❖ Valorisation en matière première organique et minérale.
- ❖ Valorisation en science des matériaux.
- ❖ Valorisation en agriculture.
- ❖ Valorisation en technique de l'environnement.
- ❖ Technique dite d'élimination.

II.2.4. Les objectifs précédents sont illustrés dans la figure

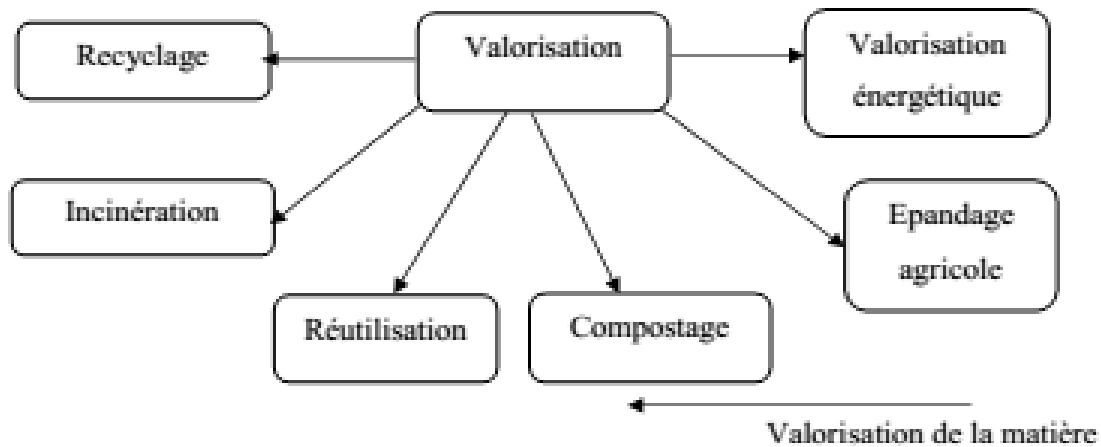


Figure II.2 Valorisation des déchets [36].

II.3. Origine de la production des déchets :

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la Matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième ;
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet ;
- Économiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- Écologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres

Déchets qui nécessiteront une gestion spécifique ;

/*Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets. [32]

II.4. Constitution chimique du déchet :

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous-produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il

n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [37].

II.5. Différents types des déchets :

II.5.1. Déchets ultimes :

Le déchet ultime c'est un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux. [35]

II.5.2. Déchets inertes :

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. [40]

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

Ce sont notamment les déchets suivants :

- Les bétons (armés ou non),
- Les tuiles et céramiques,
- Les briques, Le verre,
- Les terres et granulats non pollués et sans mélange,
- Les enrobés bitumineux sans goudron,
- Les isolants minéraux (laine de verre, de roche, de laitier, verre expansé). [41]

II.5.3. Déchets assimilés :

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants).[32]

II.5.4. Déchets verts:

Ce sont les déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)[32]

II.5.5. Déchets organiques:

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

- ❖ Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)[32]
- ❖ déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....-boues [32]

II.5.6. Déchets industriels banals (DIB):

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.[32]

II.5.7. Déchets dangereux:**II.5.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS):**

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc.... [32]

II.5.7.2. Déchets ménagers spéciaux (DMS):

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé. [42].

II.6. Technique de recyclage :

II.6.1. Procédés du recyclage:

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. [32] Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz. [32]

II.6.2. L'intérêt de la valorisation :

POURQUOI VALORISER ? Pour porter de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous-produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. [32] Les arguments peuvent être résumés en :

- ❖ Augmentation de la production.
- ❖ Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- ❖ Une législation de plus en plus sévère.
- ❖ Une meilleure gestion de la recherche.

II.6.3. Gestion des déchets :

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. [32]

II.6.3.1. Collecte de déchets :

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques. Les

déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence.

La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations. [32]

II.6.3.2. Transformations :

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi. [32]

II.6.3.3. Commercialisation et consommation :

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et Consommés. Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés. [32]

II.7. Principe de gestion des déchets :

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- Réduire.
- Réutiliser.
- Recycler.[32]

II.8. Technique de gestion des déchets :

II.8.1. Décharge :

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une

solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.[32]

II.8.2. Incinération:

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification).[32] Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse). [32] Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets.[32]

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons.[32]

II.8.3. Compost et fermentation:

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes.[32] Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage. Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers.[32] Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie.[32]

II.8.4. Traitement biologique et mécanique :

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations.[32] La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques. La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobie ou au compostage.

La fermentation anaérobie détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable. La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage. Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre. Ils détruisent les déchets en les transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage. TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume-Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environmental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM.[32]

I.8.5. Pyrolyse et gazéification :

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.[32] La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être raffinés en d'autres produits.[32] Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs. La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène.[32] Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales

produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur.[32]

II.9. Impacts du recyclage sur l'environnement:

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- ✓ l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- ✓ chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut
- ✓ le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité (É) ;
- ✓ l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- ✓ chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois
- ✓ chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l d'eau et 2,5 kWh d'électricité (É) en plus de 15 g de bois.[32]

II.10. Impact du recyclage dans l'industrie :

a. Source d'approvisionnement alternative :

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre après des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnement telles que la facilité de négociation des prix d'achat au la sécurité des approvisionnements.[38]

b. Création d'activités :

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur.

En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable faite qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour

des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières.[38]

c. Mise en conformité avec la loi :

Dans le cas des déchets d'équipements électriques et électroniques, c'est l'intervention du législateur qui a rendu leur collecte et leur valorisation obligatoires au sein de l'Union européenne.[38]

d. Coût de main-d'œuvre:

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage au quel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'œuvre abondant, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient de bacs spéciaux et le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre).La collecte sélective elle-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et emploi plus de personnes qu'une collecte simple.[39]

La plupart de ces coûts supplémentaires sont à la charge de la collectivité(en France, par exemple, c'est au niveau de la commune ou de la communauté de communes que cela est géré). Les impôts locaux en tiennent compte, mais d'autres sources de financement existent : l'écotaxe et une taxe sur les emballages. [39]

e. Conséquences sur les produits issus du recyclage:

Pour certains types de produits, la qualité de la matière première est altérée par l'opération de récupération de celle-ci dans les produits recyclés. Par exemple, le recyclage du papier donne des fibres de papier plus courtes et un papier de moins bonne qualité (ce qui ne permet qu'une dizaine de recyclage successifs). Autre exemple, le recyclage de certaines matières plastiques contaminées par des polluants ne permet plus de les utiliser pour en faire des emballages alimentaires. Un des problèmes du recyclage du verre est le dépôt, au fond, des verres de type Pyrex qui ont un point de fusion différent du verre ordinaire. Ces dépôts abiment les fours.[38]

Cependant, pour la plupart des matières premières contenues dans les déchets (métaux, verre, certains plastiques), les qualités sont conservées au travers du processus de recyclage, permettant un recyclage quasi illimité de celles-ci. Néanmoins, la chimie intervient de plus en

plus dans la fabrication de matériaux issus du recyclage. Les produits qui en résultent ont des caractéristiques de durabilité et de résistance qui peuvent même être supérieures à celles de certains matériaux naturels. Ainsi, on voit des maisons bâties avec des dérivés du recyclage du bois, mélangés ou recouverts par des résines polyuréthanes ou autres. Le résultat est surprenant, donnant une résistance aux intempéries et aux UV. supérieure à celle du bois. Il en va de même pour le papier recyclé, dont la pâte des encrées et mélangée à certains produits chimiques donne un matériau très résistant, utilisé par exemple dans la fabrication de mobilier urbain.[38]

II.11. Déchets utilisés comme granulats du béton:

II.11.1. Déchet de faïence:

Les faïences peuvent être définies comme des produits céramiques dont la pâte poreuse. Et pas conséquent perméable. Et recouverte d'une composition vitrifiable destinée à remédier à cette perméabilité.[38]

Les déchets de faïence sont des matériaux inertes ou résidus qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décomposent pas, ne brûlent pas, et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. [38]

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries fabrication de matériaux de construction.[38]



Figure II.3 déchet de faïence [38]

II.11.2. Déchets de la démolition :

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers. [38]

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.[38]

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités de maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.[38]



Figure II.4 Déchets de démolition [38]

II.11.3. Déchet de Pneus :

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait malgré une amplitude plus élevée de ses variations dimensionnelles de retrait. Malgré les limites en termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité. [43]



Figure II.5 Déchet de Pneus.[38]

II.11.4. Les déchet de brique:

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [39].



Figure II.6 déchet de Brique.[38]

II.11.5. Déchet de Verre:

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsque du ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. Le verre de récupération réagit en présence de granules alcalins. Une dilatation élevée est produite lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%. [40].

Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. La production des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m^3 par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C . [40] Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la

compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours.[40] Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulats pour le béton. Les additifs font varier les propriétés physiques et mécaniques du verre. Néanmoins, il garde tout de même des caractéristiques générales : isolant (très faible conductivité thermique et électrique), dur (difficile à percer et à rayer), étanche aux gaz, aux liquides, résistant à la chaleur, facilement stérilisable, inerte chimiquement, transparent. [40].



Figure II.7 déchet de verre [38]

II.11.6. Les déchets de chantier :

Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine [44].

Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé [45].



Figure II.8 Les déchets de chantier [38]

II.11.7. Les déchets plastiques :

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Il existe plusieurs types de déchets plastiques :

- Les déchets plastiques industriels : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).
- Les déchets de production : ils proviennent des arrêts de réacteur de polymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS, PVC).
- Les déchets de transformation : ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage,...). On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine. [46]



Figure II.9 différents types de déchets plastiques [38]

II.11.8. Déchet de bois:

Le bois manufacturé représente la plus grande partie du bois que nous utilisons et qui se termine toujours en déchet. Il n'est pas réutilisable principalement en raison des produits de protection, de conservation ou d'habillage (peinture et vernis.....) qui sont utilisés pendant toute sa vie. Ses seuls réutilisations, de façon marginale, sont les panneaux de particules que l'on obtient aussi avec de la colle et des produits injectés. [38]

Le bois en fin de vie devrait être traité par destruction, en centrale spécifique comme le demande certains textes officiels, mais ce n'est qu'un rêve de le croire. Il est très souvent brûlé soit dans vos cheminées soit dans les centrales où les produits nocifs sont éjectés dans l'atmosphère, soit stockés sans réutilisation en décharge (sauvage ...) et cela rarement pour le bien de notre santé.[38]



Figure II.10 différents types de déchets de bois [38]

II.12. Conclusion

- ❖ Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités.
- ❖ L'utilisation des divers déchets en fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.
- ❖ La valorisation des déchets reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers.[32]

Chapitre III: La Partie Expérimentale, Matériaux et Matériels et Formulation

III.1. Introduction :

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

La caractérisation des matériaux de construction tels que la matrice cimentaire nécessite la connaissance de la nature de ses composants.

Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration de certaines interprétations ne pourraient être possibles que si les différents constituants sont bien caractérisés, c'est l'objet de ce chapitre.

III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés et composition du BAP :

Les essais sur les matériaux utilisés pour la confection du béton ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de M'Sila. Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Le sable d'origine siliceux provenant de OUED MAITER de Boussaâda «M'Sila »
- ✓ Deux fractions de gravier concassé (3/8,8/16) l'origine calcaire.
- ✓ Ciment CPJ 42.5 N et provenant de la cimenterie Lafarge de Hammam Dalaa «M'Sila »
- ✓ Copeau métalliques
- ✓ L'adjuvant : MEDAPLAST SP 40 super plastifiant haut réducteur provenant de la société Granitex – Oued Smar.
- ✓ L'ajout : le filler (farine de marbre de fraction 0,08mm)
- ✓ L'eau de gâchage et de conservation : eau potable du laboratoire.

III.2.1. Le sable :

III.2.1.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulats suivant leur dimension permet de déterminer sa continuité.



Figure III.1 Matériels utilisés pour l'analyse granulométrique

❖ **Mode opératoire :**

- ✓ Prélever une masse de 2 Kg de matériau (sable sec).
- ✓ Peser chaque tamis à vide, soit m_i la masse du tamis.
- ✓ Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimer en mm) [5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125-0,08-fond].
- ✓ Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5 minutes.
- ✓ Peser chacun des tamis.
- ✓ On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.
- ✓ A la fin de tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis à 1g près, soit M_i : la masse de tamis (i) + le sable.
- ✓ Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R_1 de tamis 1).
- ✓ Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
- ✓ Ajouter le refus obtenu sur le second tamis à R_1 , soit R_2 la masse de refus m de tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{refus partiel sur tamis 2}$)
- ✓ Pour suivre la même opération avec la suite des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumules R_3, R_4, \dots, R_n le tamisât est calculé par la relation :

$$T=100- R_c$$

(R_c : refus cumulé en %, T : tamisât en%)

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Analyse granulométrique du sable

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
3.15	49	49	2.45	97.55
2.5	36	85	4.25	95.75
1.25	94	179	8.95	91.05
0.63	98	277	13.85	86.15
0.315	358	635	31.75	68.25
0.16	994	629	31.45	68.55
0.08	348	977	48.85	51.15
Fond	14	1991	99.55	0.45

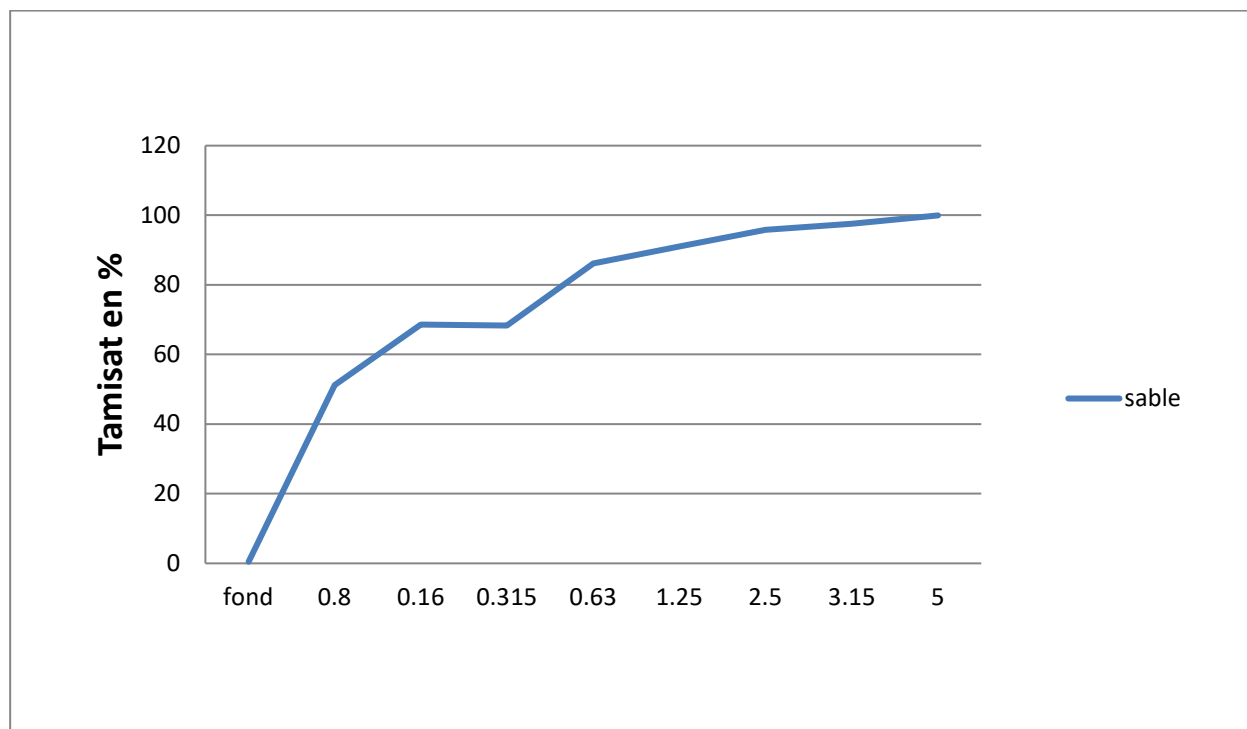


Figure III.2. Courbes granulométriques de sable

- **Module de finesse :**

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis des mailles :

[0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 et 5mm] sur 100 et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \sum R_c / 100 \quad (\text{III.1})$$

Où :

R_c est le refus cumulé

$$M_f = (2.75 + 6.85 + 11.85 + 68.65 + 94.8) / 100 = 1.85$$

Les normes soviétiques spécifient de M_f des sables comme suit :

- Sables gros $M_f > 2.5$
- Sables moyen $2 < M_f < 2.5$
- Sables fin $1.5 < M_f < 2$
- Sables très fin $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

$$2 > M_f = 1.85 > 1.5$$

- Le sable utilisé est considéré comme un sable fin.

III.2.1.2. Caractéristiques physiques du sable :

III.2.1.2.1. La masse volumique absolue :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée et exprimée en (gr/cm^3 , kg/m^3 , T/m^3)

❖ Mode opératoire :

- Remplir l'éprouvette échantillon gradué avec un volume d'eau $V_1 = 300 \text{ ml}$
- Peser un échantillon sec $M = 300 \text{ g}$ de granulats

- Introduire les granulats dans l'éprouvette graduée en chassant les bulles d'air
- Lire le nouveau volume V_2
- Calculer la masse volumique absolue $\rho_{abs} = M / (V_2 - V_1)$
- Refaire la mesure 3 fois

Tableau III.2. La masse volumique absolue du sable

Designation	M (g)	$V_1(\text{cm}^3)$	$V_2(\text{cm}^3)$	ρ_{abs} (g/cm^3)	Moyenne
Essai 1	300	300	428	2.34	2.15
Essai 2	300	300	429	2.32	
Essai 3	300	300	419	1.81	

III.2.1.2.2 La masse volumique apparente :

a) La masse volumique à l'état lâche :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2.5 l
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec
- On pèse le récipient vide de capacité de 0.9 l, soit M_1 ce poids
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15cm, et on le remplit avec du sable.
- On nivelle la surface du sable et on pèse le tout, soit M_2 ce poids

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\gamma_{app} = \frac{(M_1 - M_2)}{V_R}$$

d'où :

V_R = volume de récipient

Tableau III.3. La masse volumique apparente à l'état lâche VR= 900l

Désignation	M ₁ (g)	M ₂ (g)	P _{app} (Kg/l)	Moyenne
Essai 1	115	1412.8	1.442	1.471
Essai 2	115	1449.5	1.482	
Essai 3	115	1456.6	1.490	

b) La masse volumique à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Même procédure que celle de l'état lâche. Après remplissage du récipient et le compactage par tassement à 30 secousses manuelle, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M₂ la masse de l'ensemble (sable + récipient).

Tableau III.4 : La masse volumique apparente à l'état compact

Désignation	M ₁ (g)	M ₂ (g)	P _{app} (Kg/l)	Moyenne
Essai 1	115	1670.9	1.728	1.739
Essai 2	115	1682.3	1.741	
Essai 3	115	1687.5	1.747	

III.2.1.2.3 Porosité et compacité et indice des vides :

a/ La porosité par la formule :

$$P = \left(\frac{1 - \rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) \cdot 100(\%)$$

b/ la compacité est donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 1 - P$$

c/L'indice des vides par la formule:

$$E = \frac{P}{C}$$

Tableau III.5. Porosité, compacité et indice des vides

Porosité P (%)		Compacité C (%)		Indice des vides C	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
43.08	37.5	56.92	62.5	0.75	0.60

III.2.1.2.4 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable est un indicateur, caractérisant la propreté d'un sable. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains. Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur.

❖ Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieur à 500g)
- Prendre une pesée de 120g
- Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise la prise d'essai dans l'éprouvette et fortement a plusieurs reprises avec la pauma de la main a fin de chasser les bulles d'air
- Laisser reposer pendant 10 minutes
- Fermer l'éprouvette a l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main a l'aide d'un agitateur mécanique
- Retirer le bouchon, le rincer avec la solution lavant au-dessus de l'éprouvette, rincée ensuite les parois de cette dernière
- Faire seconder le tube lavant dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage, cette opération a pour but de laver de sable et de faire montrer les éléments fins et argileux.
- Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavant atteigne le 2 repère, laisser ensuite reposer pendant 20 minutes

a) Equivalent de sable visuel (E.S.V) :

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au le fond de l'éprouvette a l'aide d'une réglette.
- Mesurer régalement avec le réglet la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

On a :

$$E. S. V = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \cdot 100(\%)$$

h_1 : la hauteur du sable + flocculat,

h_2 : la hauteur du sable

b) Equivalent de sable piston (E.S.P):

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci l'éprouvette.
- Introduire la règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que de zéro vienne buter contre la face intérieur de la tête du piston, soit h'_2 la hauteur lue et correspondant a la hauteur le partie sédimentée.

$$E. S. P = \left(\frac{h'_2}{h_1} \right) \cdot 100(\%) \quad (III.7)$$

On a :

h_1 : la hauteur du sable + flocculat,

h'_2 : la hauteur du sable ($h'_2 < h_1$)

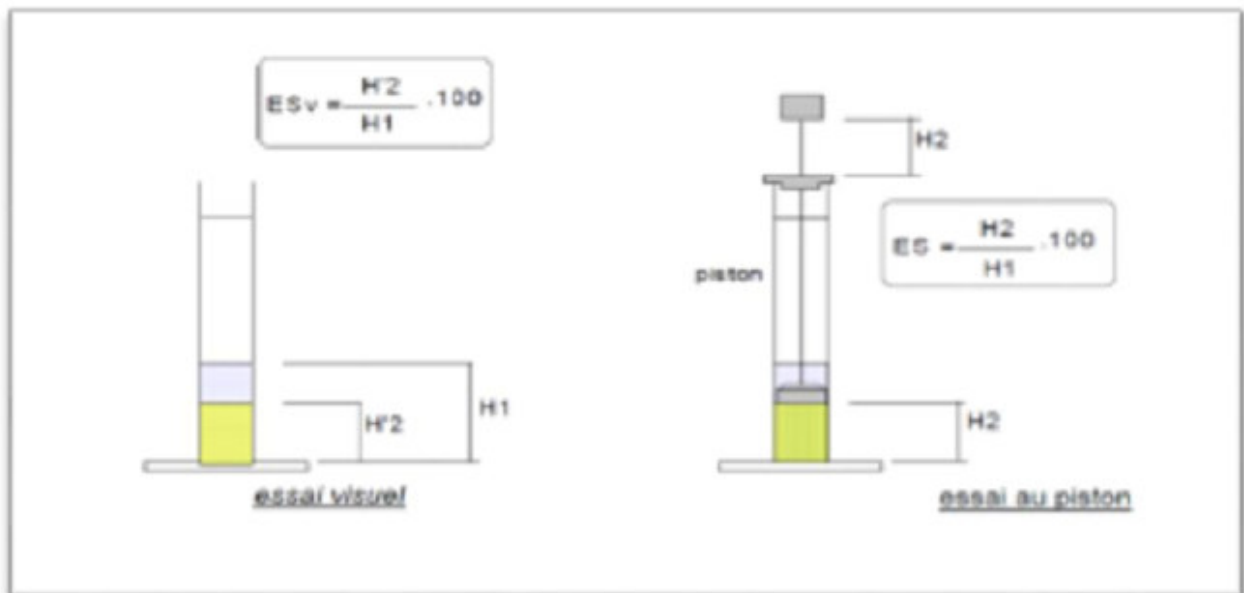


Figure III.3 Essai d'équivalent de sable

Tableau III.6 : Equivalent de sable

Désignation	h_1 (cm)	h_2 (cm)	E.S.V(%)	h'_2 (cm)	E.S.P(%)
Essai 1	10.8	9.1	84.25	8.7	80.55
Essai 2	10.1	8.9	80.18	8	79.20
Essai 3	10.6	9.5	86.79	8.2	77.35

$$(E.S.V)_{\text{moy}} = 83.74 \%$$

$$(E.S.P)_{\text{moy}} = 79.03 \%$$

c'est un Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses et convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.

Tableau III.7 : Classification de la nature du sable en fonction de l'E.S

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité de sable
$E.S < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux, risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
$65 < E.S < 75$	$65 < E.S < 70$	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
$75 < E.S < 85$	$70 < E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuses et convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
$E.S > 85$	$E.S > 80$	Sable très propre, l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par l'augmentation du dosage en eau

III.2.1.2.5 La teneur en eau de sable :

Le sable a la capacité de retenir une grande quantité d'eau. Si son humidité est comprise entre 0 et 3% on le considère comme un sable sec

❖ Mode opératoire :

- Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids.

- Mettre le sable dans l'étuve a une température de 100°C environ, et cela pour 24h
- Peser l'échantillon de nouveau, soit Ms son poids

$$W = \frac{[(M_h - M_s) \cdot 100]}{M_s} (\%) \quad (\text{III.8})$$

D'où : Ms : poids du sable sec en (g) ;
Mh : poids du sable humide en (g)

Tableau III.8 : La teneur en eau du sable

Désignation	M _h (g)	M _s (g)	W (%)	Moyenne
Essai 1	400	398.8	0.30	0.29
Essai 2	400	398.9	0.30	
Essai 3	400	398.9	0.27	

III.2.1.2.6 Le degré d'absorption d'eau du sable :

C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Il est défini par la formule suivante.

$$A = [(m_2 - m_1) / m_1] / 100 \quad (\text{III.9})$$

Tableau III.9 : Le degré d'absorption d'eau du sable

Désignation	m ₁ (g)	m ₂ (g)	A(%)	Moyenne
Essai 1	400	488	22	23.0
Essai 2	400	490	22.5	
Essai 3	400	498	24.5	

III.2.2. Le gravier :

III.2.2.1. Analyse granulométrique :

Les fractions de gravier utilisé sont le 3/8 et le 8/16

- Fraction 3/8

MG3/8=1.5 kg

- Fraction 3/8

MG8/16=2.0 kg

Tableau III.10 : Analyse granulométrique du gravier 3/8

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
8	140	140	7	93
6.3	937	1077	53.85	46.15
5	473	1550	77.5	22.5
3.5	427	1977	98.85	1.15
Fond	23	2000	100	0

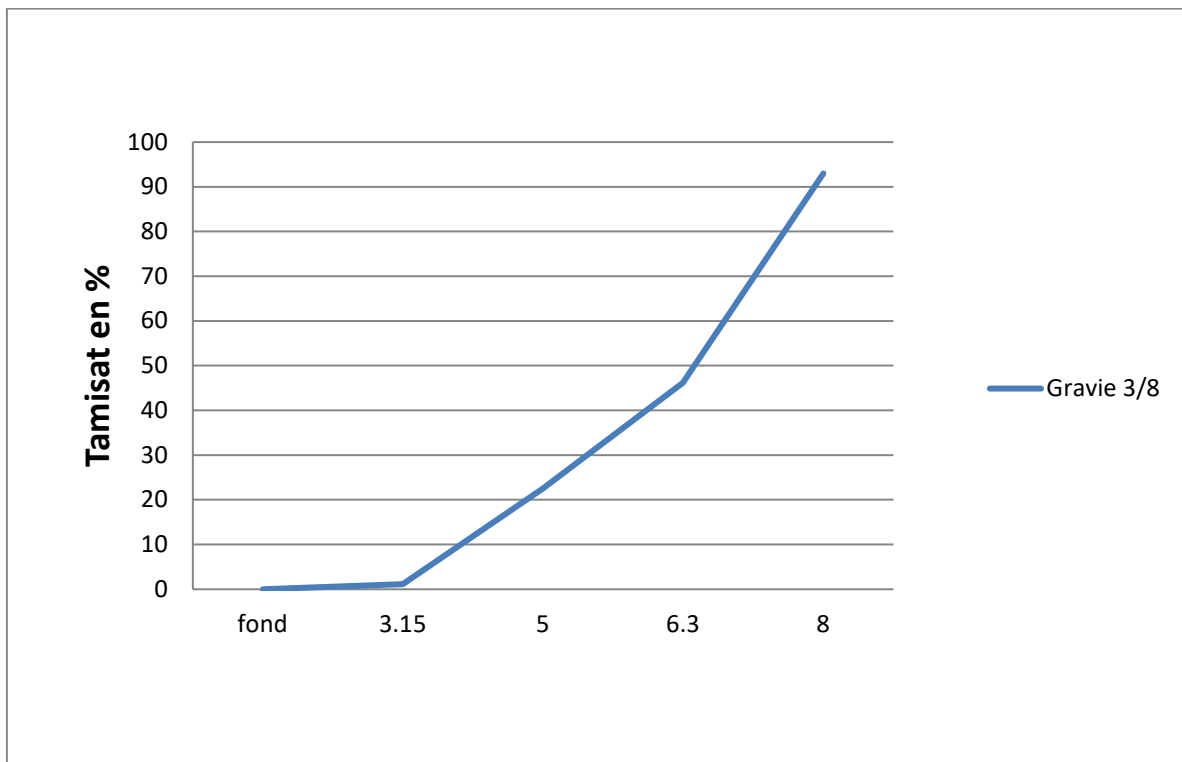


Figure III.4 Courbes granulométriques de Gravier (3/8)

Tableau III.11. Analyse granulométrique du gravier 8/16

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
20	0	0	0	100
16	127	127	6.35	93.65
12.5	857	984	49.2	50.8
10	712	1696	84.8	15.2
8	280	1976	98.8	1.2
Fond	24	2000	100	0

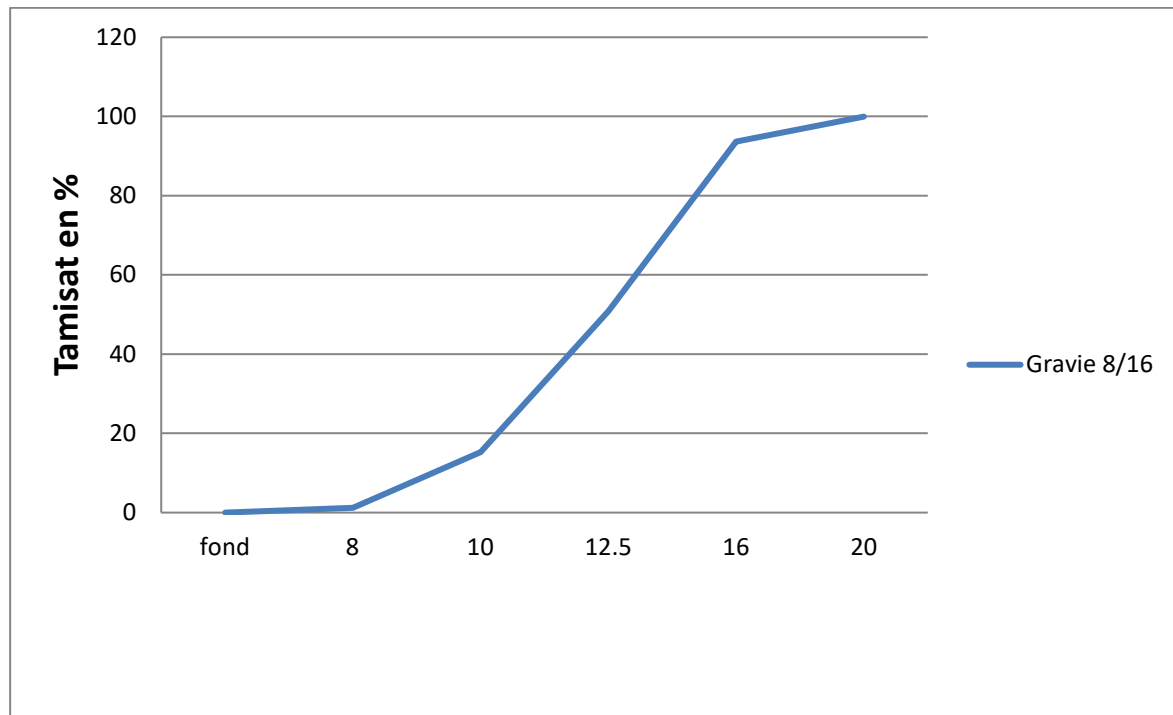


Figure III.5 Courbes granulométriques de Gravier (8/16)

III.2.2.2. Caractéristiques physiques du gravier :

III.2.2.2.1 La masse volumique apparente :

Le principe de cette mesure s'agit de remplir un récipient de volume intérieur connu de peser la quantité de granulat correspondant.

Mode opératoire :

Verser les granulats dans le récipient choisi et le disposer sous tassement par couches horizontales successives.

Araser la couche supérieure des granulats à l'aide d'une règle. La masse volumique est déterminée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V} \quad (III.10)$$

D'où :

V : volume du récipient

M2: poids de l'ensemble (granulat + récipient)

M1: poids du récipient

Tableau III.12 : La masse volumique apparente du gravier

Désignation	Gravier	V ₁	M ₁ (kg)	M ₂ (kg)	ρ _{app} (kg/l)	Moyenne
Essai 1			2.625	12.409	1.397	
Essai 2	3/8	7	2.625	12.419	1.399	1.403
Essai 3			2.625	12.519	1.413	
Essai 1			3.465	17.343	1.387	
Essai 2	8/16	10	3.465	17.326	1.386	1.383
Essai 3			3.465	17.235	1.387	

III.2.2.2.2 La masse volumique absolue :

Même mode opératoire que le sable.

- Remplir l'éprouvette échantillon graduée avec un volume d'eau V₁= 400 ml
- Peser un échantillon sec M= 400 g de granulats
- La masse volumique absolue

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Tableau III.13 : La masse volumique absolue du gravier

Gravier	Désignation	M(g)	V _e (cm)	V (cm)	ρ _{abs} (g/cm ³)	Moyenne
3/8	Essai 1	400	400	547	2.72	2.68
	Essai 2	400	400	550	2.66	
	Essai 3	400	400	550	2.66	
8/16	Essai 1	400	400	550	2.66	2.66
	Essai 2	400	400	549	2.68	
	Essai 3	400	400	550	2.66	

III.2.2.2.3 Porosité et compacité et indice des vides :

a/ La porosité par la formule :

$$P = \left(\frac{1 - \rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) \cdot 100(\%)$$

b/ la compacité est donnée par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 1 - P$$

c/ l'indice des vides est donnée par la formule :

$$E = \frac{P}{C}$$

Tableau III.14. Porosité et compacité et indice des vides:

Porosité P (%)		Compacité C (%)		Indice des vides C	
3/8	8/16	3/8	8/16	3/8	8/16
47.94	48.6	52.06	51.35	0.92	0.94

III.2.2.2.4 La teneur en eau de sable :

La formule utilisée est :

$$W = \frac{(M_h - M_s)}{M_s} \cdot 100 (\%)$$

Tableau III.15 : Teneur en eau des graviers:

Gravie	Désignation	M _h (g)	M _s (g)	W (%)	Moyenne
3/8	Essai 1	500	499.6	0.08	0.107
	Essai 2	500	499.1	0.18	
	Essai 3	500	499.7	0.06	
8/16	Essai 1	600	599.4	0.10	0.136
	Essai 2	600	599.1	0.15	
	Essai 3	600	599	0.16	

III.2.2.2.5 Degré d'absorption d'eau du gravier :

La formule utilisée est :

$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \cdot 100 (\%)$$

Tableau III.16 : Degré d'absorption d'eau du gravier

Gravie	Désignation	M _h (g)	M _s (g)	W(%)	Moyenne
3/8	Essai 1	500	506	1.2	1.0
	Essai 2	500	505	1.0	
	Essai 3	500	504	0.8	
8/16	Essai 1	500	503	0.6	0.8
	Essai 2	500	505	1.0	
	Essai 3	600	506	0.8	

III.2.2.2.6 Essai de la dureté (Essai Los Angeles) :

Cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles(LA), et sur le principe d'effritement par abrasion.



Figure III.6 Appareil de l'essai Los Angeles.

L'essai consiste à mesurer la masse (M) d'éléments inférieurs à 1.6mm, produits par la fragmentation du matériau (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

Si (M) est la masse du matériau soumis à l'essai et (m) la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'explique par le coefficient Los Angeles LA :

$$LA = \left(\frac{m}{M}\right) \cdot 100 (\%)$$

Tableau III.17 : Caractéristiques mécaniques du gravier

Gravie	Masse initial M(kg)	Masse M(kg)	Coefficient Los Angeles (%)
3/8	5	1.22	24.4
8/16	5	1.015	20.3

Tableau III.18 : Classification du gravier en fonction du coefficient de Los Angeles

Coefficient Los Angeles	Nature du gravier
<20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mi-dure
40 à 50	Tendre
>50	Très tendre

- Le coefficient de Los Angeles du gravier 3/8 utilisé est compris entre 20 et 25, donc c'est un gravier dur.
- Le coefficient de Los Angeles du gravier 8/16 utilisé est compris entre 20 et 25, donc c'est un gravier dur.

III.2.3. Le ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est le Ciment Portland Composé (CPJ) MATINE, de la cimenterie Lafarge de M'sila.

Le ciment MATINE est un ciment gris pour bétons de haute performance de la classe NA442 CEM II/B-L 42,5 N.



Figure III.7 Ciment Portland Composé (CPJ) MATINE

❖ Les avantages du 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

III.2.4. Les copeaux métalliques :

Les Copeaux Métalliques Ce sont des fibres minérales spiralées, et elles se présentent sous la forme d'un ressort, leur longueur varie de 1 cm à 5 cm résultant de la modification de pièces métalliques obtenues par tournage.



Figure III.8 Les copeaux métalliques

III.2.5. L'adjuvant :

Les adjuvants sont des produits incorporés au moment du malaxage du béton à dosage inférieur à 5% en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et ou du durci, (norme EN 934-2).

L'adjuvant utilisé est le MEDAPLAST SP 40 qui est un superplastifiant haut réducteur d'eau.

III.2.6. Le filler (marbre) :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire et constituée principalement de cristaux de calcite.

Tableau III.19 : Caractéristiques physiques du marbre

Propriétés Physique	Fine Marbre
Masse volumique apparente (g/cm^3)	0.83
Densité	2.67
Surface spécifique de Blaine (cm^3/g)	448

Tableau III.20. Caractéristiques chimiques du marbre

Analyse chimique	Fines marbre
SiO ₂	1.47
CaO	55.3
MgO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.14
Al ₂ O ₃	0.35
Na ₂ O ₃	0.12
K ₂ O	0.04
SO ₃	0.01
Perte au feu	42.65

III.2.7. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de génie civil.

Tableau III.21. Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage

La mesure	Teneur en eau (mg/l)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl ⁻	234.3
Sulfat SO ⁴	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Eligibilité d'oxydation en eau	1024

La composition chimique a été établie le 10 mai 2005 à la cimenterie Lafarge de M'Sila.

III.3. Formulation du béton autoplaçant:

III. 3 .1. Préparation de la gâchée :

La préparation du béton autoplaçant 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.[47]

Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé.

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

-Vérifier en premier le nombre et l'état des moules prismatique et cubique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage. [47]

- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.

-Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.

-Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.

-Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, marbre) 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 un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).

- Ajouter les trois quart d'eau graduellement. [47]

- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.

- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, marbre) 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 un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).
- Ajouter les trois quart d'eau graduellement.
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- pour un BAPCM ajouté 0.5% de copeau métallique.
- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration pour le béton autoplaçant et les vibrer à l'aide de la table vibrante pour le béton ordinaire. [47]

II I. 3. 2. 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 d'hydratation du ciment. [47]

III. 3. 3. Formulation de béton autoplaçant :

Pour la formulation du béton autoplaçant nous n'avons pas suivi une formulation classique.

Nous avons respecté les conditions nécessaires permettant de garantir l'autoplaçabilité tout en se basant sur des compositions proposées dans la littérature spécialisée. [47]

Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans 1m^3 de béton en ayant comme données les paramètres suivants :

- ◆ Un rapport $G/S = 1$.
- ◆ Un rapport $E/C = 0.5$.
- ◆ Un dosage en ciment plutôt élevé $C = 420 \text{ kg /m}^3$
- ◆ Un pourcentage déterminé en ajouts (superplastifiant, les fillers, ou encore les deux). Le filler $F=10\%*C$, et le superplastifiant $SP40=2\%*C$. [47]

III.3.3.1. Les constituants présents dans le mélange :

$$G + S + C + E + F + SP = 1000 \text{ liters}$$

Avec :

$$E/C = 0.5 \Rightarrow E = 420 * 0.5 = 210 \text{ kg/m}^3$$

La masse volumique de l'eau est 1000 kg/m^3 ce qui implique que

$$E = 210 \text{ l/m}^3$$

Si on prend un dosage en F de 10% C

On a :

$$F = 10\% * C = 420 \text{ kg/m}^3 * 10\% = 42 \text{ kg/m}^3$$

Le filler utilisé est le marbre, et sa densité absolue égale à 2.67 Ce qui nous donne en terme de volume : $42 / 2.67 = 15.73 \text{ l/m}^3$

$$\text{Le dosage du superplastifiant est : } 2\% * C = 2\% * 420 \text{ kg/m}^3 = 8.4 \text{ kg/m}^3$$

La densité absolue du superplastifiant SP40 est égale à 1.2

Ce qui nous donne en terme de volume : $8.4 / 1.2 = 7 \text{ l/m}^3$ La densité absolue du ciment est égale à 3.1

$$\text{Le volume du ciment est : } 420 / 3.1 = 135.48 \text{ l/m}^3$$

On peut calculer les proportions des graviers et du sable :

Le volume de la pate pour 1m^3

de béton est :

$$C + E + F + SP = 135,48 + 210 + 15,73 + 7 = 368.21 \text{ litres}$$

Le volume des granulats pour 1m^3

De béton est :

$$G + S = 1000 - 368.21 = 631.79 \text{ litres}$$

Avec $G/S = 1$

$$\text{On a donc: } G = S = 315.89 \text{ l/m}^3$$

Pour les deux fractions du gravier on a choisi d'utiliser 50% de 8/16 et 50% du 3/8

$$\text{Gravier (3/8) : } 50\% = 157.94 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Gravier (8/16) : } 50\% = 157.94 \text{ l/m}^3$$

$$\text{et pour le Sable : } S = 315.89 \text{ l/m}^3$$

En termes de poids on a :

$$\text{Gravier (3/8) } = 157.94 * 2.67 = 421.69 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Gravier (8/16) } = 157.94 * 2.68 = 423.27 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sable } = 315.89 * 2.627 = 827.64 \text{ kg/m}^3$$

Pour les déchets métalliques on a utilisés une proportions,0.5 % du volume du béton.

Tableau III.22. La composition des matériaux pour 1m³ de béton

Composant	Composant en volume (l/m ³)	Composant en masse volumique (kg/m ³)
Gravier 3/8	157.94	421.69
Gravie 8/16	157.94	423.27
Sable	315.89	827.64
Ciment	135.48	420
Eau	210	210
Superplastifiant SP40	7	8.4
Filler (marbre)	15.73	42
Déchet métalliques Proportion 0.5%	5	0.5925

III.4 Les compositions des différents bétons :

BAPT: Béton Autoplaçant Témoin;

BAPCM : Béton Autoplaçant avec 0.5% de Copeau Métallique de 1 à 5 cm de longueur ;

III.5 Conclusion:

Les essais physiques, les analyses chimiques et le analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des bétons qui seront étudiés au chapitre suivant de point de vue rhéologique et mécanique.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentale.

Chapitre IV: Techniques Expérimentales des BAP

IV.1. INTRODUCTION

Ce chapitre rassemble les tests empiriques qui ont été réalisés dans le cadre de cette étude mise en œuvre. Au niveau du laboratoire de génie civil de l'Université de M'sila.

A notre connaissance depuis l'avènement du BAP, il s'agit d'un béton de coulabilité maximale qui peut combler tous Les moules sont sans aucune vibration, tout en restant stables et garantissant une haute résistance mécanique.

Il peut contrôler toutes les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) et permet également l'utilisation de ce béton dans de nombreuses applications, cependant, il doit être amélioré afin d'étendre son utilisation.

L'ouvrabilité du BAP diffère classiquement du béton ordinaire comme suit :

Il ne peut pas être déplacé et déplacé dans un environnement confiné et stable

Il a 3 caractéristiques :

- Liquidité
- Harmonie
- Durabilité

Outre sa capacité à s'intégrer d'elle-même, les caractéristiques les plus importantes du BAP sont la liquidité, la viscosité et la résistance.

IV.2. Essais de caractérisation du béton autoplaçant à l'état frais :

Le béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci a fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières années. Parmi les essais les plus utilisés pour la caractérisation des bétons autoplaçants à l'état frais on pourra citer :

1. La détermination de la de la consistance au cône d'Abram's ;
2. La détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte L ;
3. La détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis

IV.2.1. Détermination de la consistance au cône d'Abram's :

C'est un essai dérivé de l'essai d'affaissement, sauf qu'au lieu de mesurer l'affaissement, on mesure cette fois-ci le diamètre moyen de la galette formé par le béton lors de l'étalement.

IV.2.1.1. Matériel utilisé:

- Une plaque carré 120 centimètres de coté ;
- Un cône d'Abram's ;
- Une règle de centimètres.

IV.2.1.2. Mode opératoire :

- Placer la plaque sur un support stable et horizontal (Fig. III.1) ;
 - On mouille la surface de la planche pour éviter que le béton n'y colle, et on essuie l'excès d'eau avec un chiffon ;
 - Placer le cône d'Abrams au centre de la planche, en coulant le béton de manière continue, jusqu'au sommet du cône ;
 - Araser si nécessaire avec une truelle et nettoyer le panneau si nécessaire avec un chiffon humide ;
 - On soulève le cône verticalement avec des contacteurs ;
 - Une fois le béton étalé sur la table, nous mesurons le diamètre final sur des côtés spécifiques ;
- Et notez les deux valeurs.

Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, le test doit être invalidé et renouvelé ;

- Le résultat final est l'évaluateur moyen obtenu.

Soit : $\text{pendage débit} = (D1 + D2) / 2.$

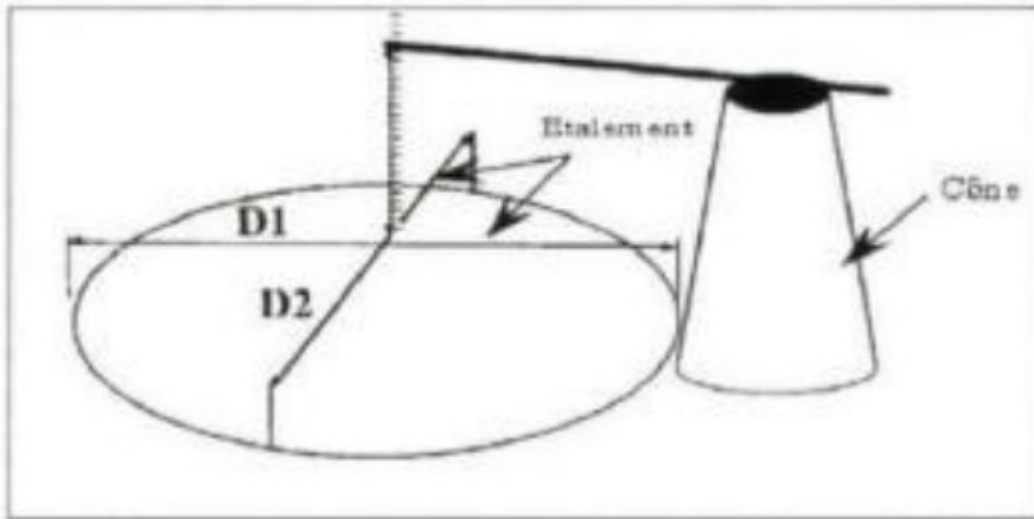


Figure.IV.1 Essai d'étalement.

On pratique, on vise habituellement un étalement compris entre 60 et 70 cm pour un béton autoplaçant.



Figure. IV.2. Exemple d'étalement d'un BAP

IV.2.2 Détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte L :

Cet essai est réalisé en utilisant une boîte ayant une forme en L.

Les tests concrets sont autorisés dans un environnement confiné et vérifiez que la création de béton ne sera pas dérangée par les phénomènes de blocage inacceptables tels que la présence de renforcement par exemple

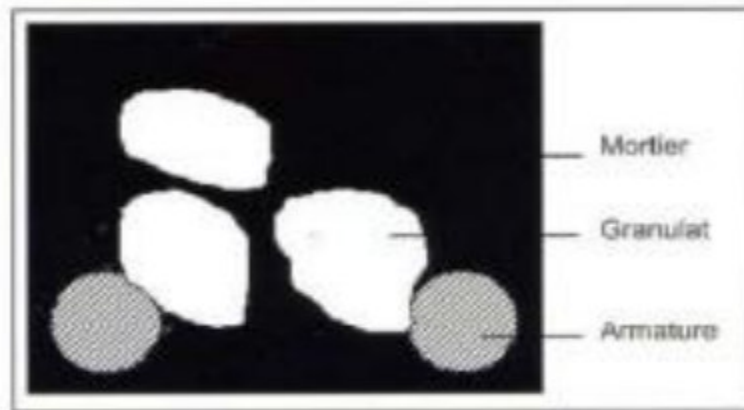


Figure. IV.3. Blocage des granulats par la présence d'armatures [2]

Son principe est le suivant : - La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton ; (Fig.III.4)- Quand le béton ne s'écoule plus, puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage ; - Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure la hauteur H_1 et H_2 .



Figure. IV.4 .exemple de l'essai la boîte en L

Essai de la boîte en L

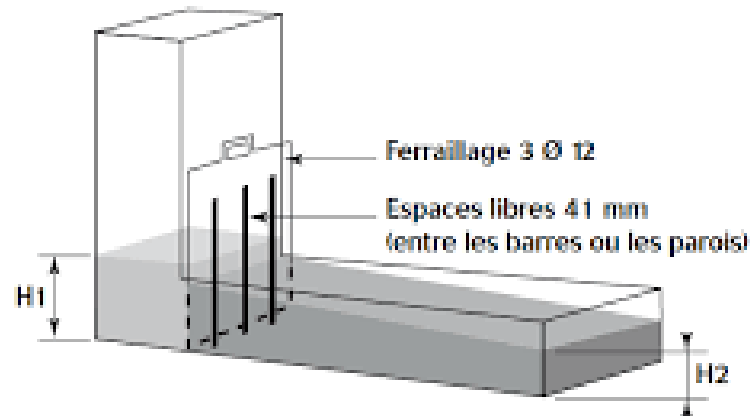


Figure. IV.5. Essai de la boîte en L

- On vise un rapport (H_2/H_1) d'au moins 0.8 pour un béton autoplaçant.

IV.2.3 Détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis :

IV.2.3.1. Matériel utilisé :

- Un seau de 10 litres équipé d'un couvercle ;
- Un tamis de 5 mm, ainsi qu'un fond ;
- Une bascule de précision (pesée minimale de 20 grammes).

IV.2.3.2. Mode opératoire :

C'est un essai de qualification des bétons autoplaçants face au risque de ségrégation.

- Après le malaxage du béton, verser le béton dans le seau. Le temps d'attente entre l'arrêt de malaxage et le prélèvement doit être inférieur à 30 secondes. Il consiste à déposer 0.500 litres de béton sur un tamis ayant des mailles de 5mm d'ouverture.

Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation, et attendre 5 minutes plus tard, nous sommes une quantité pondérée qui a traversé le tamis

On calcule :

$$\Pi = \left(\frac{P_{\text{laitance}}}{P_{\text{échantillon}}} \right) \cdot 100$$

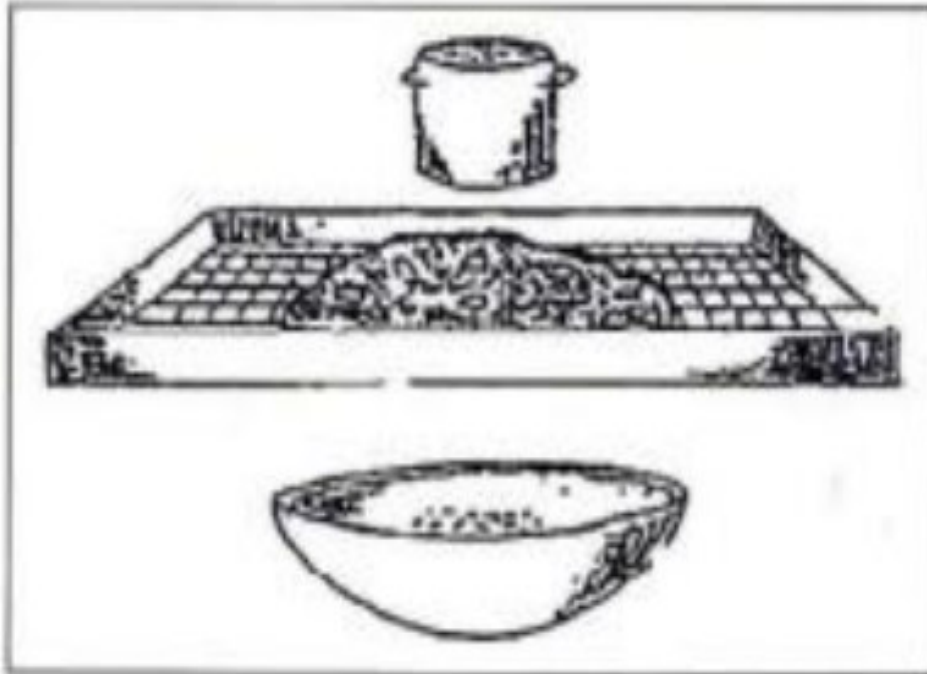


Figure. IV.6. Essai de la stabilité au tamis

En fonction du résultat trouvé, on classe les bétons comme suit :

Tableau. IV.1. Classement de la formulation selon le pourcentage:

% de laitance Π	Classement de la formulation
$0 \leq \Pi \leq 15$	Stabilité satisfaisante
$15 < \Pi \leq 30$	Stabilité critique
$\Pi > 30$	Stabilité très mauvaise (béton inutilisable)

IV.3 Essais de caractérisation du béton autoplaçant à l'état durci :

IV.3.1. Essai de compression :

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cubique à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.

a) But de l'essai :

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

L'essai se fait sur une éprouvette cubique de dimensions normalisées $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$

b) Principe de l'essai :

Après malaxage, on remplit en béton un moule cubique normalisé, le remplissage du moule se fera en 3 couches sans vibration.

Le démoulage se fera après un 48 heures.

L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à une température moyenne de 20C° .

la résistance sera déterminée à 7, 14 et 28 jours.



Figure. IV.7. L'appareil de l'essai de compression

c) Conduite de l'essai :

Le temps écoulé, on retire l'éprouvette du bac d'eau et on laisse sécher pendant 24 heures ; l'éprouvette sera placée entre les deux mâchoires de la machine et on élèvera une seule lecture. Celle de la force correspondant à la rupture de l'échantillon. Soit F cette lecture.

Calculs : La résistance sera: $G = F/S$

Avac :

S : section de l'éprouvette : 100 cm^2

F : force au moment de la rupture.

IV.3.2 Essai de traction par flexion :

a) But de l'essai :

Cet essai a aussi pour but de déterminer la résistance à la traction du béton.

C'est un essai de traction par flexion qui consiste à écraser un prisme de dimensions (7x7x28) cm^3 de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse.



Figure.IV.8. L'appareil de l'essai de traction par flexion

b) Conduite de l'essai :

Lors d'un essai de flexion de trois points, la poutre de béton est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Compte tenu que le béton résiste beaucoup moins à la traction qu'à la compression l'éprouvette va se rompre dès que le béton aura atteint sa limite en traction. La contrainte limite qui découle d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité est σ_{tf} (contrainte de traction par flexion).

Le matériau béton n'ayant pas un comportement élastique au voisinage de la rupture, il convient d'apporter au calcul de la résistance en traction du bétons σ_t un terme correctif de 0,6 ($\sigma_t = 0,6 \sigma_{tf}$)

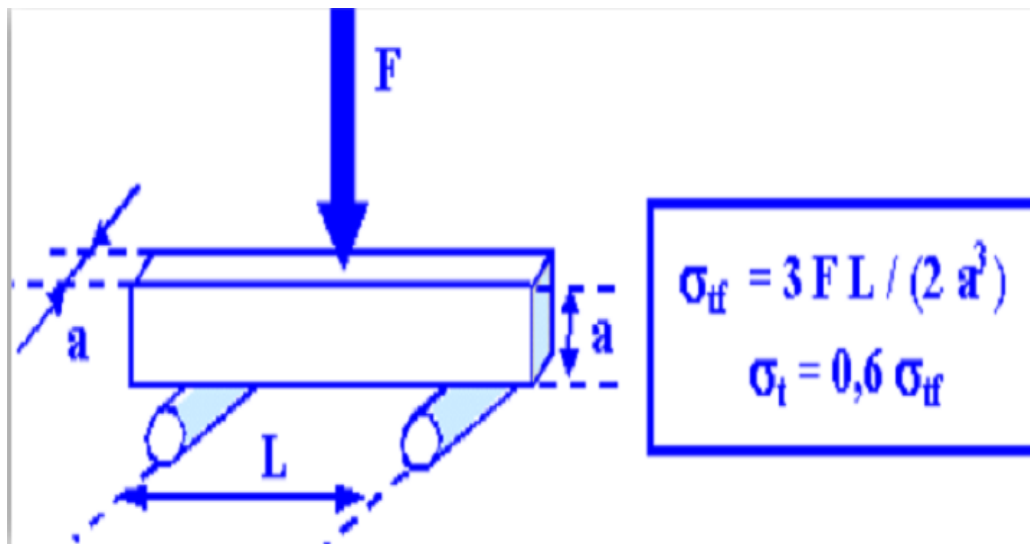


Figure.IV.9. Formule de calcul de la résistance de traction

IV.3.3 Mesure de la porosité :

- La Pesée hydrostatique M_{eau} = masse en grammes pesée sous l'eau
- La Pesée dans l'air de l'éprouvette saturée d'eau M_{sat}
- Le Séchage a $T^{\circ}=105C^{\circ}$ jusqu'à masse constante (2 pesées espacées de 24 h ne s'écartent pas de plus de 0.05%)
- La Pesée dans l'air de l'éprouvette sèche M_{sec}

- Le Calcul de la porosité accessible à l'eau :

$$P_{\text{eau}} = \left[\frac{(M_{\text{sat}} - M_{\text{sec}})}{(M_{\text{sat}} - M_{\text{eau}})} \right] \cdot 100$$

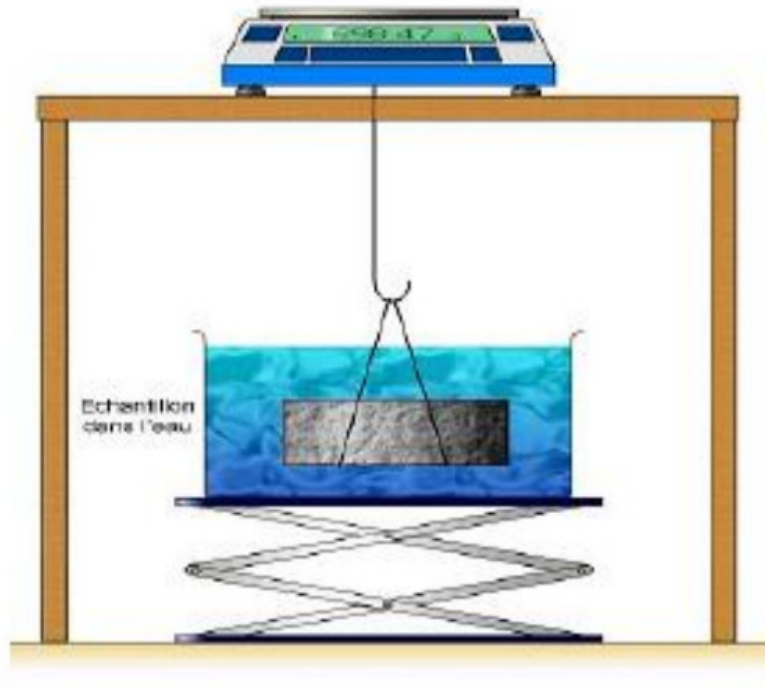


Figure. IV.10. Essai de la porosité

IV.3.4. Détermination de la résistance par les essais non destructifs

On a utilisé deux essais non destructifs :

- La méthode de dureté superficielle ou essai au scléromètre ;
- La méthode d'auscultation dynamique ou ultra son.

IV.3.4.1 Essai au scléromètre :

La méthode de dureté superficielle consiste essentiellement à une auscultation du béton par une manière standard, en utilisant une masse donnée activée par une certaine énergie puis mesurer ensuite le rebondissement. Cette méthode est connue sous le nom de scléromètre Schmidt.

Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours il a été développé par Ernst Schmidt en (1948) et est connu sous le nom l'essai au marteau Schmidt ou essai au scléromètre.



Figure. IV.11. Marteau de Schmidt ou Scléromètre

a) Principe de l'essai

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse, comme présenté sur la figure (IV.12).

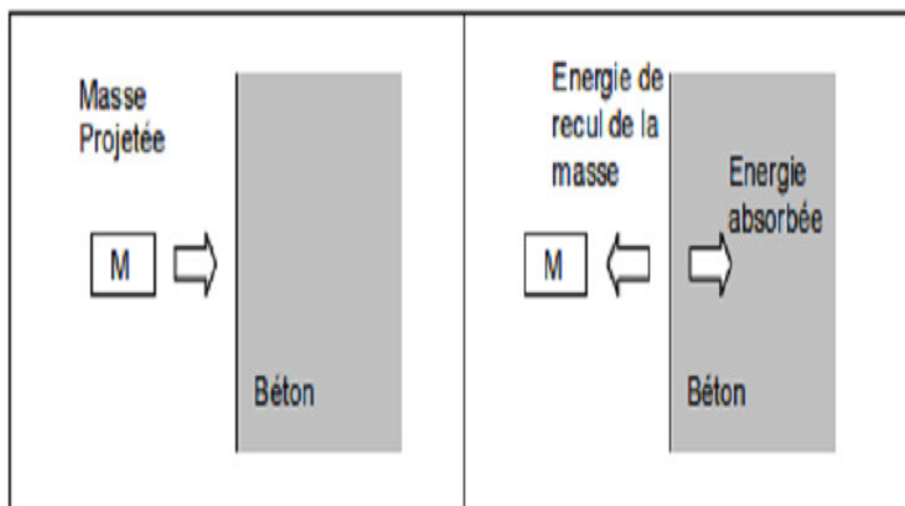


Figure. IV.12. Principe de fonctionnement d'un scléromètre[]

IV.3.4.2 Essai d'auscultation dynamique :

Connu depuis longtemps cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton.

a) Principe de l'essai :

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. Les principales caractéristiques de tous les appareils comprennent un générateur d'impulsions et un récepteur d'impulsions. Figure (IV.13)



Figure. IV.13. Appareil d'ultra son

IV.4 Conclusion :

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, dans laquelle nous présentons les matériaux et équipements utilisés dans nos travaux, les essais réalisés en laboratoire et la méthode utilisée pour calculer les masses des éléments de référence en béton autoplaçant c'est la méthode dite AFGC.

Les connaissances acquises depuis l'apparition des BAP et la meilleure maîtrise de toutes les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre l'utilisation de ces bétons dans de nombreuses applications.

Dans cette partie nous intéressons à l'épandage de BAP à l'aide du cône d'abrams. Puis fluidité (capacité de remplissage) à l'aide d'une boîte en forme de L et résistance de séparation par test de stabilité au tamis.

Chapitre V:

Résultats et Analyses

V.1. Introduction :

Cette partie a pour but de s'intéresser aux essais sur béton à l'état frais permettant ainsi de caractériser leurs propriétés rhéologiques et d'évaluer le comportement des bétons autoplaçants renforcé par des copeaux métalliques par rapport aux bétons autoplaçants sans copeaux.

V.2. Résultats des essais à l'état frais :

A partir des mélanges obtenus, on a procédé à différents essais afin de caractériser les BAP confectionnés. Pour cela, nous avons utilisé les tests recommandés par l'AFGC.

Tableau V.1 : Résultats des essais à l'état frais :

Type de béton	L'étalement (mm)	Stabilité au tamis (%)	La boîte en L (H2/H1)	Masse volumique (kg/m ³)
BAPT	650	12.14	0.84	2276
BAPCM	630	11.34	0.82	2893

V.2.1. Essai d'étalement au cône d'Abram's :

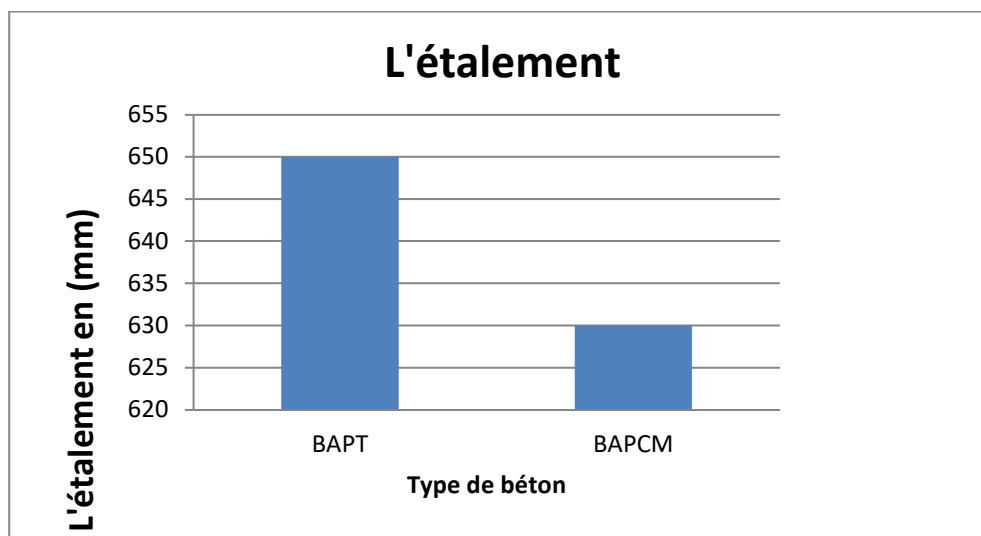


Figure. V.1. L'étalement en fonction de type de béton

Remarque:

Les valeurs d'étalement sont habituellement fixées entre 60 et 75 cm. Les deux BAP (BAPT et BAPCM) présentent des valeurs d'étalement comprises entre ces deux valeurs.

Les résultats obtenus et présentés sur la figure V.1. On note d'après les résultats obtenus dans l'énoncé que la valeur d'étalement de BAPCM est inférieure à la valeur d'étalement de BAPT.

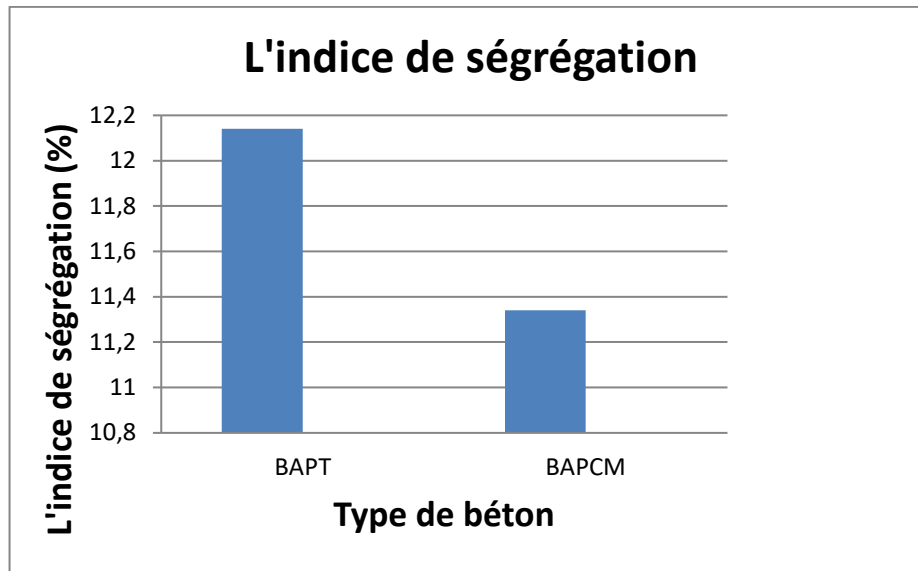
V.2.2. Essai de stabilité au tamis :

Figure. V.2. L'indice de ségrégation en fonction de type de béton

Remarque:

On note d'après les résultats obtenus que BAP est confinée entre :

$$0 \leq \Pi \leq 15$$

c.-à-d. que les bétons autoplaçant (BAPT et BAPCM) ont des stabilités satisfaisantes.

V.2.3. Essai de la boîte en L :

L'objectif de cet essai est de déterminer la capacité du béton à s'écouler dans une zone confinée, sans qu'il soit contrarié par des phénomènes de blocage inacceptable.

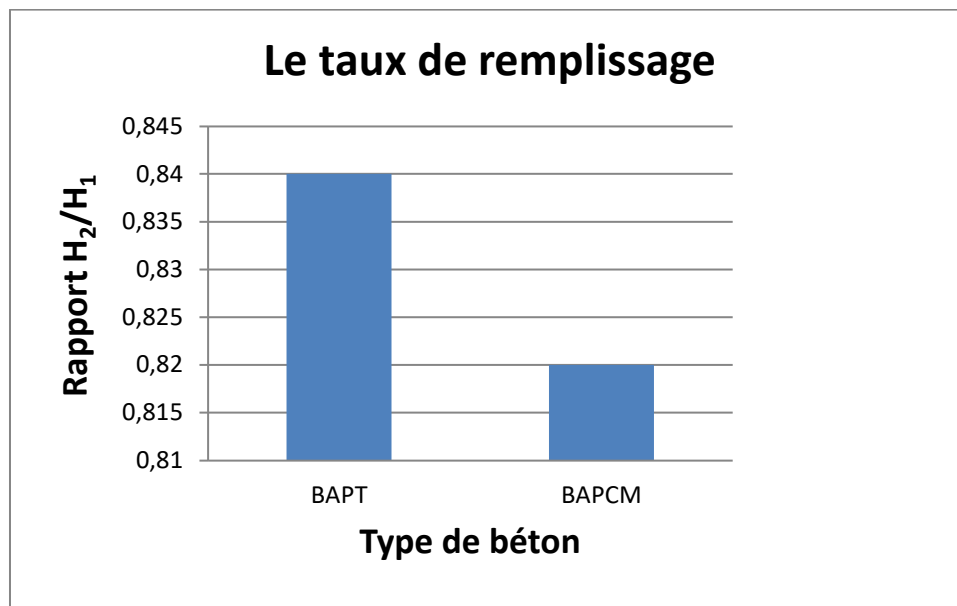


Figure. V.3. Le taux de remplissage en fonction de type de béton

Remarque:

L'essai est exploité au travers du taux de remplissage (rapport des hauteurs de béton et en début de la boîte) qui doit en principes être supérieur à 0.8 tous nos BAP respectent cette condition.

V.2.4. La masse volumique :

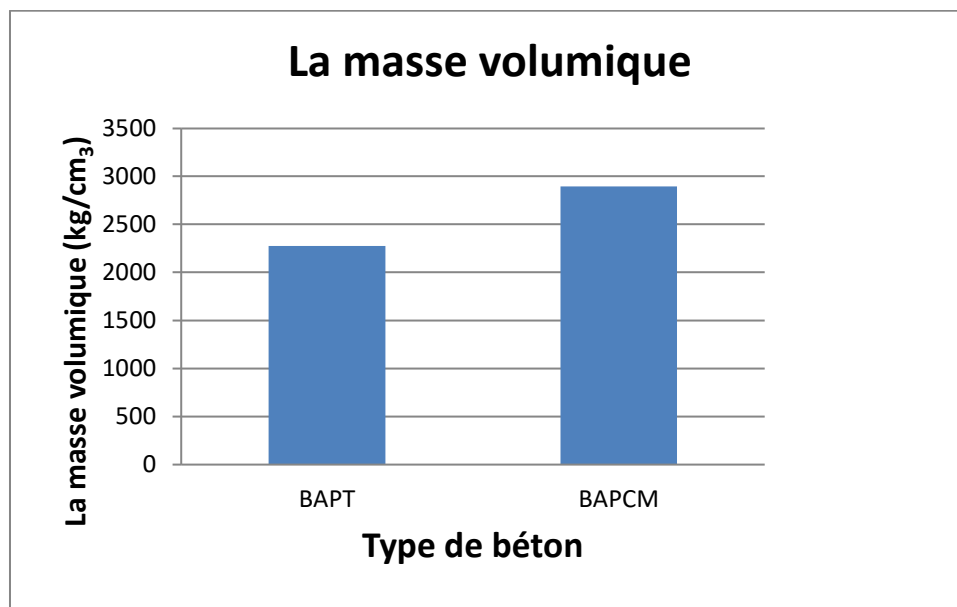


Figure .V.4 la masse volumique en fonction du type bétons (BAP).

Remarque:

On note d'après les résultats obtenus dans l'énoncé que la masse volumique de BAPCM supérieure à la masse volumique de BAPT. Ceci est du à la grande masse des copeaux métalliques.

Les résultats des essais des différents BAP à l'état frais soit l'essai d'étalement, ou l'essai de la boîte L et l'essai de stabilité au tamis, permettent de dire que ses BAP correspondent aux critères des recommandations provisoires. On remarque que les plus grandes valeurs de l'étalement, de l'indice de ségrégation et du taux de remplissage sont celles du BAP Témoin, et ses valeurs diminuent avec l'ajout des copeaux métalliques. Contrairement à la masse volumique qui augmente avec l'ajout des copeaux métalliques.

Et on compare ces résultats avec celles de S. Mostefai [2] qui a étudié l'influence des fibres métalliques on trouve que le BAP avec l'ajout des copeaux métalliques donne le même comportement à l'état frais que le BAP avec l'ajout des fibres métalliques.

V.2. Résultats des essais à l'état durci :**V.2.1. La résistance mécanique à la compression et à la traction par flexion:**

Pour faire les essais de compression et de traction on a confectionnées des éprouvettes cubiques de dimensions $(10 \times 10 \times 10) \text{cm}^3$ et des éprouvettes prismatiques de dimensions $(7 \times 7 \times 28) \text{cm}^3$.

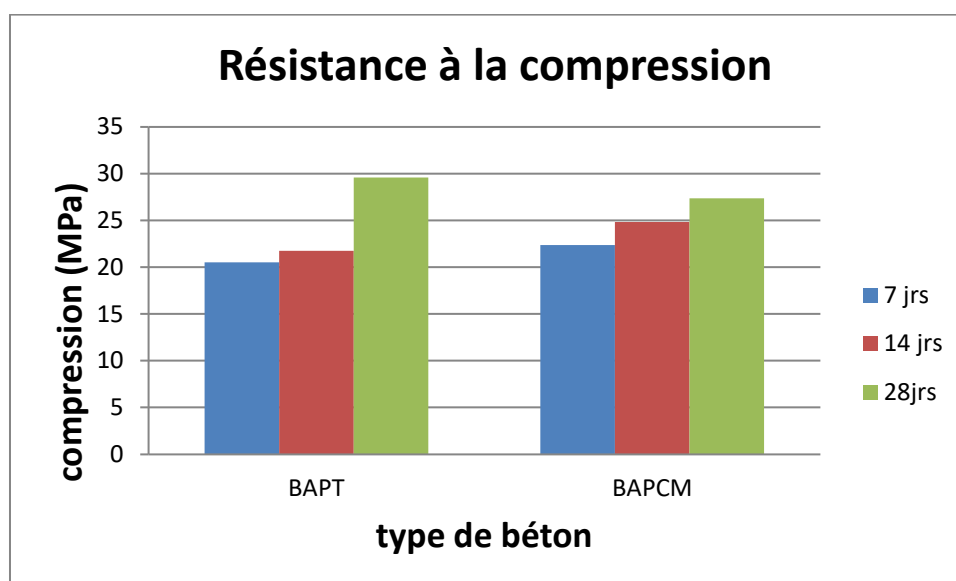
V.2.1.1. La résistance à la compression :

Figure. V.5. La résistance à la compression en fonction de l'âge des bétons

La résistance à la compression augmente avec l'âge des bétons. A 7 jours c'est le BAPCM qui donne la plus grande résistance, l'effet des copeaux est visible dès les premiers jours. A 14 jours, la résistance augmente pour les BAPCM par rapport au BAPT, mais à 28 jours la meilleure résistance est donnée par la BAPT. La présence des copeaux métalliques influe sur l'adhérence, ce qui influe sur la résistance.

V.2.1.2. Résistance à la traction par flexion:

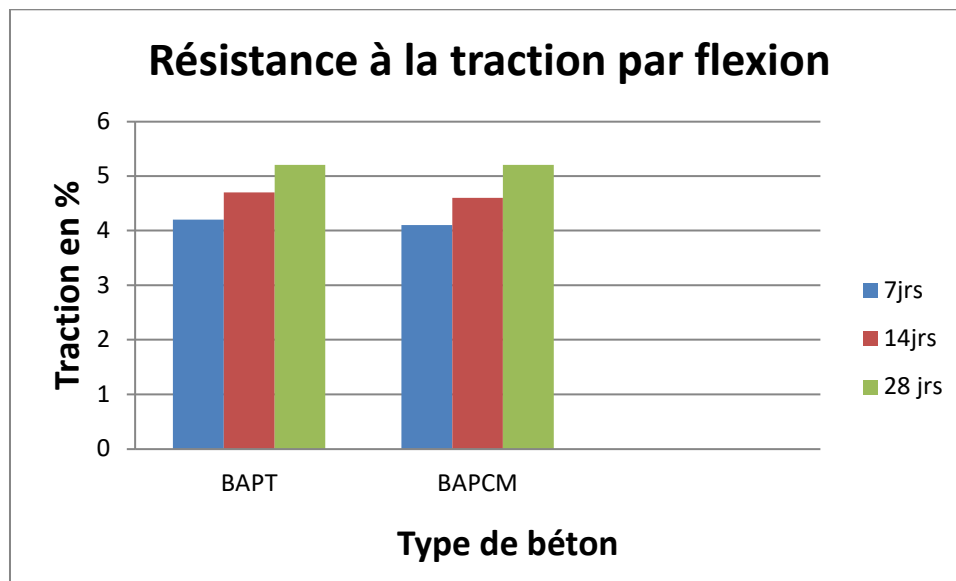


Figure. V.6. La résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge des bétons

Remarque:

La résistance à la traction par flexion, augmente avec l'âge des BAP et la plus grande résistance est donnée par le BAPT.

Pour le BAPCM l'idée qui se dégage de ce travail est que les copeaux métalliques n'augmentent pas d'une manière nette la résistance à la traction. Et durant l'essai on a remarqué qu'elles procurent au matériau un pallier de ductilité et permettent de mieux contrôler la fissuration.

V.2.2. Les essais non destructifs (END) :

V.2.2.1. L'essai à l'ultrason

❖ éprouvettes cubique:

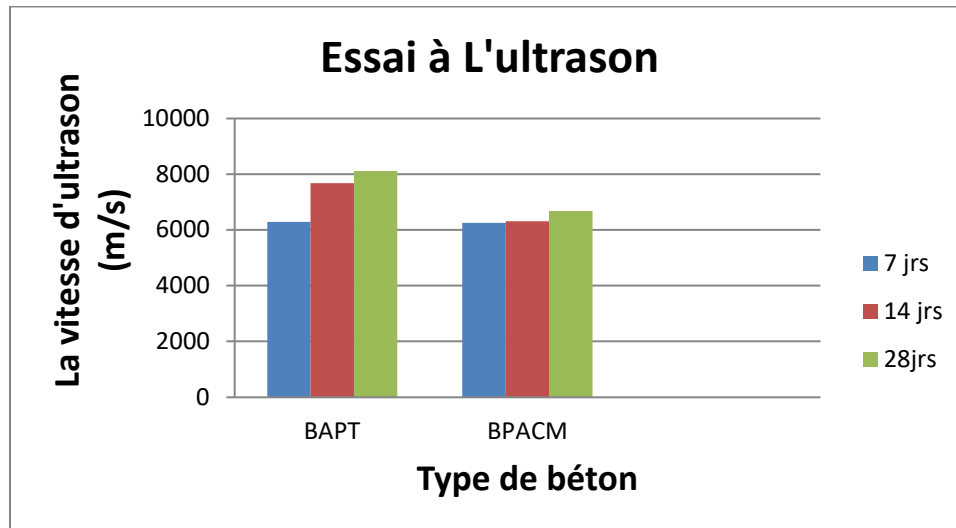


Figure. V.8. La vitesse en fonction de l'âge des bétons

La vitesse du son augmente avec l'âge du béton, et l'ajout des copeaux métalliques n'influence pas sur les résultats d'ultrason, les résultats sont en accord avec les résultats de la résistance à la compression

V.2.2.2. L'essai au scléromètre :

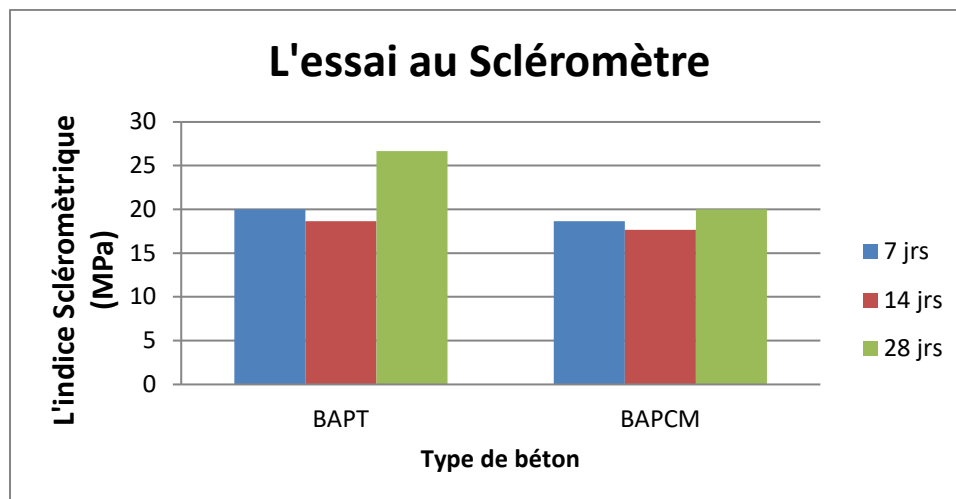


Figure. V.9. L'indice sclérométrique en fonction de l'âge des bétons

L'indice sclérométrique augmente avec l'âge du béton, et l'ajout des copeaux plastiques n'influence pas sur les résultats d'indice sclérométrique, les résultats sont en accord avec les celle de la résistance à la compression.

V.3. Conclusion :

Le cinquième chapitre est consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude ainsi que les intérêts techniques d'un BAP et BAPCM.

L'objectif de notre travail consiste à réaliser un béton autoplaçant renforcé par des copeaux métalliques les essais caractéristiques effectués sur les bétons frais ont prouvé une maniabilité et stabilité satisfaisantes des BAP contenant des copeaux métalliques alors les résultats confirment l'avantage de l'ajout des copeaux métalliques à l'état frais les BAP étudiés garde ses caractéristiques d'auto plasticité.

Par contre à l'état durci, les résultats montrent une diminution de la résistance en compression et à la traction des BAP étudiés.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail consiste à réaliser un béton autoplaçant renforcé par des copeaux métalliques les essais caractéristiques effectués sur les bétons frais ont prouvé une maniabilité et stabilité satisfaisantes des BAP contenant des copeaux métalliques alors les résultats confirment l'avantage de l'ajout des copeaux métalliques à l'état frais les BAP étudiés garde ses caractéristiques d'auto plasticité.

Le béton autoplaçant (BAP) est une nouvelle avancée dans la construction en tangibles et en cela ils offrent des avantages économiques, techniques et sociaux.

Absence de vibrations caractérisant son installation permet de réduire les coûts Production mondiale pour construire des composants à géométrie complexe ou fortement annulée Ainsi que de réduire les nuisances sonores et la pénibilité des travaux qu'elle nécessite.

Ce travail met en lumière la récupération de 0,5% du volume de mélange de copeaux métalliques en tant qu'additif pour la formulation de béton autoplaçant.

Les copeaux métallique sont utilisés dans le béton pour limité la propagation des fissures et produire un matériau plus ductile.

Les résultats tirés de ce travail sont :

- Les valeurs d'étalement sont habituellement fixées entre 60et 75 cm. Les deux BAP (BAPT et BAPCM) présentent ses valeurs d'étalement compris entre ces deux valeurs.

Le BAPCM présente une valeur d'étalement inférieure que la valeur d'étalement de BAPT.

On note d'après les résultats obtenus que BAP est confinée entre : $0 \leq \Pi \leq 15$

c-à-d que les bétons autoplaçant (BAPT et BAPCM) ont des stabilités satisfaisantes.

- Le taux de remplissage doit en principes être supérieur à 0.8 tous nos BAP respectent cette condition.

On note d'après les résultats obtenus que la masse volumique de BAPCM supérieure à la masse volumique de BAPT. Ceci est du à la grande masse des copeaux métalliques.

On compare ces résultats avec celles de S.Mostefai [2] on trouve que le BAP avec l'ajout des copeaux métalliques donne le même comportement à l'état frais que le BAP avec l'ajout des fibres métalliques.

La résistance à la compression augmente avec l'âge des bétons.

A 7 jours c'est le BAPCM qui donne la plus grande résistance, l'effet des copeaux est visible dès les premiers jours.

La présence des copeaux métalliques influe sur l'adhérence, ce qui influe sur la résistance.

La résistance à la traction par flexion, augmente avec l'âge des BAP et la plus grande résistance est donnée par le BAPT.

Les copeaux métalliques n'augmentent pas d'une manière nette la résistance à la traction. Et on remarque qu'elles procurent au matériau un pallier de ductilité et permettent de mieux contrôler la fissuration.

La vitesse du son augmente avec l'âge du béton, et l'ajout des copeaux métalliques n'influence pas sur les résultats d'ultrason, les résultats sont en accord avec les résultats de la résistance à la compression

L'indice sclérométrique augmente avec l'âge du béton, et l'ajout des copeaux plastiques n'influence pas sur les résultats d'indice sclérométrique, les résultats sont en accord avec les celle de la résistance à la compression.

Les références bibliographiques

Les références bibliographiques

- [1] BELGHIT, C. CONTRIBUTION A LA FORMULATION D'UN BETON AUTOPLAÇANT A BASE DE MATERIAUX LOCAUX Effet du laitier granulé micronisé sur l'ouvrabilité Option: Matériaux et Structures.
- [2] Soufienne, M. O. S. T. E. F. A. I. (2019). *Evaluation de la qualité des bétons autoplaçant (BAP) fibrés aux moyens des Essais Non-Destructifs (END) et essai direct* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [3] Norme NF 260-9, Règles complémentaires pour le béton autoplaçant, 2010.
- [4] LAIFA W., « Contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de diss sur les propriétés des bétons autoplaçants », thèse de doctorat, université Badji Mokhtar - Annaba, 2015.
- [5] BHIM M., MERABET W., BOUCETTE T.A., « Effets des déchets de démolition en brique sur les propriétés autoplaçants des bétons », ALGERIE EQUIPEMENT n° 50, Décembre 2011.
- [6] Behim, M., & Boucetta, T. A. (2013). Valorisation du verre à bouteille comme addition fine dans les bétons autoplaçants. *Déchets Sciences et Techniques*, 65, 20-28.
- [7] ISLAM, L., & NASSEREDDINE, B. (2020). VALORISATION DES DECHETS DANS LE BETON AUTO-PLAÇANT: ETAT DE L'ART.
- [8] Nécira, B. (2006). *Étude des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- [9] A.M. NEVILLE: «Propriétés des bétons». Version française traduit par CRIB.Eyrolles . 2000
- [10] G. DREUX & J. FESTA : «Nouveau guide du béton et de ses constituants». 8ème Édition. Eyrolles. Mai 1998.
- [11] C. JOLICOEUR: «Superplast icizers: Chemistry , mode of action and performance criteria». Béton Canada. Université de Sherbrooke. 1995.
- [12] Baalbaki, M. (2000). Influence des interactions du couple ciment/adjuvant dispersant sur les propriétés des bétons: Importance du mode d'introduction des adjuvants (French text).
- [13] T. SEDRAN: «Les bétons autonivelants (BAN) : Synthèse bibliographique». Bulletin deliaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. N° 196, pp 53-60. Mars-Avril 1995.
- [14] NF P 18-406 relative aux essais de compression des bétons.
- [15] OZAWA K, MAEKAWA K, OKAMURA H, "The high performance concrete with high filling capacity", Proceeding of the international symposium on admixtures for concrete, Held by RILM, Barcelone.p 51-62.
- [16] SEDRAN T, « Les Bétons Autonivelants (BAN) », Synthèse Bibliographique, Bull. Liaison Lobo. P et Ch. -196 -, Réf. 3889 mars-avr, 1995.

- [17] TURCRY P, LOUKILI A, « Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants », influence sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques, Revue française de Génie Civil, vol. 7, n° 4, 2003.
- [18] KHAYAT K H, “Workability, Testing, and Performance of SelfConsolidating Concrete”, ACI Materials Journal, V. 96, No. 3, May-June 1999.
- [19] GROTH P, “Steel Fiber Reinforced SCC, Final report of task 6”, Brite Euram project (BE 96-3801) - Rational production and improved working environment through using SCC, Doc. No.: RT6-v1.doc, 2000.
- [20] DEGHEFEL MOUSSA, 2010« Application de l’essai de dureté pour la caractérisation du béton »,Mémoire de Magistère, Université de M’SILA.
- [21] DJEBRI NOURA, 2018« Formulation et caractérisation d’un béton autoplaçant fibré à base de matériaux locaux exposé aux hautes températures »,Thèse de Doctorat, Université de M’SILA.
- [22] DHONDE HB, YO MO, TCC HSU, VOGEL J, “Fresh and hardened properties of self consolidating fiber reinforced concrete”, .ACI Mater J, 104:491–500, 2007.
- [23] G. Benkechkache , 2007, Etude du comportement différé du béton autoplaçant, influence de paramètres de composition et de chargement, Thèse de Magister en Génie Civil, option Mécanique des structures, Université Mentouri Constantine, Novembre 2007.
- [24]S. Brahim Support de cours de matériaux de construction, Chapitre 2: Méthode de formulation des bétons autoplaçants.
- [25] Djebri, N., Rahmouni, Z. E., & Belagraa, L. (2017). Experimental Investigation on the Effect of Marble powder on the performance of Selt-Compacting Concrete (SCC). *Mining Science, 24*.
- [26] DJERAD, K., & CHOUYA, A. (2020). *Revue bibliographique sur la durabilité des bétons autoplaçants (BAP) fibrés* (Doctoral dissertation, Univ M'sila).
- [27] Sedran, T. (1999). Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants. *THESE PRESENTEE POUR L'OBTENTION DE GRADE DE DOCTEUR DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES-SPECIALITE: STRUCTURES ET MATERIAUX*.
- [28] BOUDRA SARA, contribution à la modélisation du retrait des " Application au béton autoplaçant ", Université de Constantine 01, Octobre 2014
- [29] DJEBRI, N. (2018). *Formulation et caractérisation d’un béton autoplaçant fibré à base de matériaux locaux exposé aux hautes températures* (Doctoral dissertation, Université de M'sila).

- [30]- Fritih, Y. (2009). *Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé* (Doctoral dissertation, Toulouse, INSA).
- [31]- Benaddad, S., & Benatsou, N. (2012). *Etude A La Compression D'un Béton Auto Plaçant Avec Additions Minérales Argile Cuite Et Broyée Et Fillers Calcaires* (Doctoral dissertation, Université abderrahmane mira béjaia).
- [32] Mr. CHELABI HAMZA Mr. TALEB ZAHIR Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre. 2016/2017
- [33] Article L. 541-3 Code de l'Environnement - Livre V, Titre IV – chapitre 1er relatif à L'élimination des déchets et à la récupération des matériaux. 2007-2017 Legifrance p. (561-562)
- [34] Article L. 541-1-1 Code de l'Environnement, Prévention et gestion des déchets 2007-2017 Legi-france p.(559)
- [35] Karim Ouamane, DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, 25 mai 2017
- [36] Zeghichi, L. (2006). *Etude des bétons basiques à base des différents granulats* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
- [37] Sperandio, K. (2001). *identification des facteurs mobilisateurs des stratégies de gestion des déchets ménagers mises en œuvre par les collectivités locales* (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).
- [38] FERGUENE HABIB . Valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants. Mémoire fin d'étude de Master. Boumerdes 2016
- [39] SAADANI Sabrina « Comportement des bétons à base de granulats recycles» thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine.
- [40] : Barkat Abderezzak «valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrage en béton » thèse de Magister Université Kasdi Merbah Ouargla 2006-2007.
- [41] : «lexique déchet », 2004.
- [42] : Ademe P-C «guide de déchet de l'artisanat» 2004.
- [43] : François PERCHE « adsorption des poly carboxylates et de lignosulfates sur poudre modèle et ciments »Thèse de doctorat.
- [44] : document d'une entreprise canadienne qui travaille en Algérie.
- [45] : NF EN 934-2(sept.2002), adjuvant pour béton, mortier et coulis.

[46] : AICHOUCH Amine et BELKBIRE Hocine « élaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique» DEUA Boumerdes 2011.

[47] : Djebri, N. (2006). *L'EVALUATION DE LA QUALITE DU BETON IN SITU* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).

Annexes

NOTICE TECHNIQUE

2 1 3 6

MEDAPLAST SP 40Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1, 3.1
et 3.2, NA 774**Super plastifiant - haut réducteur d'eau****DESCRIPTION**

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

Sur béton frais :

- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- pH 8,2
- Densité $1,20 \pm 0,01$
- Teneur en chlore $< 1g/L$
- Extrait sec 40%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

**Granitex**

Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

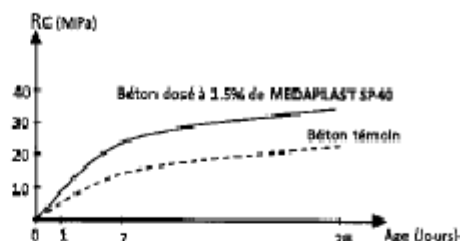
Tél: (213) 021 51 66 81 & 82

Fax: (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



93



Evolution des résistances en compression

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubitenaire de 1200 kg.

Délai de conservation :

Une année emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}C < t < 35^{\circ}C$).

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en Janvier 2007.

Caractéristiques techniques de ciment (matine) :

• Analyses 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

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Propriétés physiques	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

• Temps de prise à 20° (NA 230)	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5