

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATERIAUX

N° :

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

**Par : - FAID Ahlam
- BOURAS Ahlam**

Intitulé

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

Soutenu devant le jury composé de :

Dr Maza Mekki	Université de M'sila	Président
Dr Belouadah Messaouda	Université de M'sila	Examineur
Pr. Rahmouni Zine El Abidine	Université de M'sila	Rapporteur
Dr. Djebri Noura	Université de M'sila	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2020 /2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Ensuite, nous remercions nos parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continuerons à nous aider dans tous les projets de l'avenir.

Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.

*Nous remercions très sincèrement notre Encadreur « **Pr. RAHMOUNI- Zin El Abidine** », et Co-Encadreur « **Dr. DJEBRI NOURA** » pour tout le savoir qu'elle nous a apporté, et pour nous avoir encadrés et dirigés au cours de notre projet de fin d'étude.*

Enfin, nous tenons à exprimer toute notre gratitude à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci à tous

Dédicace

A ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi ; ceux qui m'ont encouragée soutenu à combattre les aléas de la vie et donner le meilleur de moi ; A Celle qui m'a donné la vie et l'envie de vivre, à celle qui m'a entouré de sa tendresse, à celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation,

à ma très chère mère.

Je dédie à mes frères : « Sahraoui, Said,

Ibrahim et Abd-elhadi »

A toute ma famille

À mes amis et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

*Je finis par remercier toute personne qui
m'a aidé et soutenue, de près ou de loin,
pour que ce modeste mémoire aboutisse.*

Ahlam FAID

Dédicace

À ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi ; ceux qui m'ont encouragée soutenu à combattre les aléas de la vie et donner le meilleur de moi ; entémoignage de mon éternelle reconnaissance je dédie essentiellement cette thèse à mes

parents : « AMEUR » et « TALDJA ».

Et ma grande famille : « BOURAS ».

Je dédie à mes frères : « OUSSAMA, ALI,

MOHAD et BOUDJEMAA » et à mes sœurs « HANAN, OUARDA et

NOURA »

Je dédie à mes chères amies « AHLAM FAID, SALMA, SOMIA, ANWAR,

MARWA, NASIRA et FATIMA »

Je finis par remercier toute personne qui

m'a aidé et soutenue, de près ou de loin,

pour que ce modeste mémoire aboutisse.

BOURAS Ahlam

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 plastiques commence par l'optimisation des mélanges pour obtenir un dosage optimal du mélange de béton 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 plastique sous forme de copeaux, incorporé à trois (03) pourcentages 0.1, 0.4 et 0.5 % dans les mélanges des BAP élaborées, ce qui permet d'évaluer l'effet de l'ajout des copeaux plastiques sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et durcis et de valoriser les déchets plastiques, les résultats confirment l'avantage de l'ajout des copeaux plastiques surtout à l'état frais des BAP étudiés.

Mots clé : Béton autoplaçant, Déchets, Valorisation, copeaux plastiques.

Abstract:

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

An experimental study to study the properties of SCC containing plastic chips begins with the optimization of mixtures to obtain an optimal dosage of concrete mixture with the study of the properties of SCC in the fresh state: flow, L-box and sieve stability and the properties of hardened concrete: water permeability, compressive strength and ultrasonic pulse velocity.

Waste plastic in the form of mulch, combined with three (03) percentages of 0.1, 0.4 and 0.5% in the mixtures of SCCs produced, which makes it possible to evaluate the effect of adding plastic mulch on the properties of SCC in the fresh and hardened state and recovery of plastic waste, the results confirm the advantage of adding plastic flakes, especially in the fresh case of the studied SCC.

Keywords : Self-compacting concrete, Waste plastic, Valuation, plastic flakes.

ملخص:

جلبت الخرسانة متموضعة ذات يانظرة ثاقبة اعدة في صناعة الخرسانة لإحداث تأثير بيئي فض تكايف. بدأ دراسة جريبية دراسة صانص BAP تي تحتوي على رقائق بلاستيكية بتحسين خلانظ لحصول على جرعة مثالية من ليط الخرسانة مع دراسة صانص BAP في حانة طازجة: تدفق، صندق L، ثبات غربال صانص الخرسانة متصلة: نفاذية ماء، قوة الانضغاط سرعة نبض باموجات فوق صوتية. نفايات بلاستيكية على شكل نشارة، مدمجة بثلاث (03) نسب مئوية 0.1 0.4 0.5 % في مخايط BAP منتجة، مما يجعل من الممكن قبيم تأثير إضافة نشارة بلاستيك على صانص BAP في حانة طازجة متصلة استعادة نفايات بلاستيكية، وكذا نتائج ميزة إضافة رقائق بلاستيكية، اصة في حانة طازجة - BAP مدرسة. كلمات مفتاحية: الخرسانة متموضعة ذات يا. نفايات. إعادة استخدام رقائق بلاستيكية.

Table des Matières

- Remerciements
- Dédicace
- Sommaire
- Liste des figures
- Liste des tableaux

CHAPITRE I: REVUE GENERALE SUR LE BETON AUTOPLAÇANT

I.1: INTRODUCTION :	3
I.2. PROPRIETES DES BAP A L'ETAT FRAIS :	4
I.2.1. CARACTERISTIQUES RHEOLOGIQUES FONDAMENTALES DES BAP :	4
I.2.2. ESSAIS DE CARACTERISATION DES BAP :	7
I.2.2.1. CAPACITE DE REMPLISSAGE :	7
I.2.2.2. ESSAI DE LA BOITE :	8
I.2.2.3. ESSAI DE CAPACITE DE REMPLISSAGE :	8
I.2.2.4. ESSAI DU TUBE EN U :	9
I.2.3. DEFORMABILITE :	10
I.2.3.1. ESSAI D'ETALEMENT (SLUMP FLOW) :	10
I.2.3.2. ESSAI DE LA BOITE L :	11
I.2.3.3. STABILITE AU TAMIS :	12
I.2.3.4. ESSAI D'ETALEMENT MODIFIE (J-RING) :	13
I.2.3.5. ESSAI DE V-FUNNEL :	14
I.3 . PROPRIETES DES BAP A L'ETAT DURCI :	15
I.3.1. ESSAI DE COMPRESSION :	15
I.3.2. ESSAI DE TRACTION PAR FLEXION :	16
I.4. LES AVANTAGES DES BAP :	17
I.5. LES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES BAP :	19
I.5.1 MATERIAUX DE BASE :	19
LES GRANULATS :	19

LE CIMENT	19
L'EAU DE GACHAGE :	20
I.5.2 ADDITIONS MINERALES :	20
I.5.3 ADJUVANTS CHIMIQUES :	20
LES SUPER-PLASTIFIANTS	20
LES AGENTS COLLOÏDAUX (AGENT DE VISCOSITE) :	21
I.6. INFLUENCE DES PARAMETRES DE FORMULATION SUR LES PROPRIETES A L'ETAT FRAIS :	22
I.6.1 ROLE DES ADJUVANTS :	22
UTILISATION DE SUPER-PLASTIFIANT :	22
I.6.2 VOLUME DE PATE ELEVE :	24
I.6.3. VOLUME DE GRAVILLONS :	25
I.7. FORMULATION DES BAP :	26
I.7.1. METHODE JAPONAISE :	26
A). DOSAGE DES GRAVILLONS :	26
B). DOSAGE DU SABLE :	26
C). DOSAGE DU LIANT :	26
D). DOSAGE DE L'EAU ET DU SUPER PLASTIFIANT :	27
I.7.2 L'APPROCHE SUEDOISE :	27
I.7.3. FORMULATION PAR VOLUME DE PATE MINIMAL :	27
I.7.4. FORMULATION PAR OPTIMISATION DU SQUELETTE GRANULAIRE :	27
I.7.5. METHODE BASEE SUR UN PLAN D'EXPERIENCE :	28
I.8. CONCLUSION :	28
CHAPITRE II : VALORISATION DES DÉCHETS	
II.1. INTRODUCTION :	29
II.2. RECYCLAGE DES DECHETS :	29
□ DEFINITION D'UN DECHET :	29
□ DEFINITION DE RECYCLAGE :	30
II.3. ORIGINE DE LA PRODUCTION DES DECHETS :	32
II.4. DIFFERENTS TYPES DE DECHETS :	33

II.4.1. DECHETS ULTIMES :	33
II.4.2. DECHETS INERTES :	33
II.4.3. DECHETS ASSIMILES :	33
II.4.4. DECHETS VERTS :	33
II.4.5. DECHETS ORGANIQUES :	33
II.4.6. DECHETS INDUSTRIELS BANALS (DIB) :	34
II.4.7. DECHETS DANGEREUX :	34
II.4.7.1. DECHETS INDUSTRIELS SPECIAUX (DIS) :	34
II.4.7.2. DECHETS MENAGERS SPECIAUX (DMS) :	34
II.5. GESTION DES DECHETS :	34
II.5.1. DEFINITION :	34
II.5.2. PRINCIPE DE GESTION DES DECHETS :	35
II.6. RECYCLAGE ET VALORISATION DES DECHETS DANS LE DOMAINE DU GENIE CIVIL :	36
II.6.1. RECYCLAGE DES PLASTIQUES :	37
□ ETAPES DU RECYCLAGE DES DECHETS PLASTIQUES.....	37
II.6.2 UTILISATION DES DECHETS PLASTIQUES RECYCLES :	38
II.7. CONCLUSION :	38
 CHAPITRE III : Caractéristiques des matériaux utilisés et composition du béton	
III.1. INTRODUCTION :	39
III.2. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES ET COMPOSITION DU BAPCP :	39
III.2.1. LE SABLE :	40
III.2.1.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE :	40
III.2.1.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SABLE :	41
III.2.1.2.1. La masse volumique absolue :	41
III.2.1.2.2 La masse volumique apparente :	42
III.2.1.2.3 Porosité et compacité et indice des vides : -	43
III.2.1.2.4 Equivalent de sable :	44
III.2.1.2.5 La teneur en eau de sable :	47
III.2.1.2.6 Le degré d'absorption d'eau du sable :	47
III.2.2. LE GRAVIER :	48
III.2.2.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE :	48
III.2.2.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU GRAVIER :	49
III.2.2.2.1 La masse volumique apparente :	50

III.2.2.2.2 La masse volumique apparente absolue :.....	51
III.2.2.2.3 Essai de la dureté (Essai Los Angeles) :	51
III.2.3. LE CIMENT :	53
III.2.4. L'ADJUVANT :	53
III.2.5. LE FILLER (MARBRE) :	54
III.2.6. L'EAU DE GACHAGE :	55
III.2.7. Les copeaux plastiques	55

CHAPITRE IV : TECHNIQUES EXPERIMENTALES DES BETON AUTOPLAÇANT

IV.1. INTRODUCTION :	57
IV.2. FORMULATION DU BETON AUTOPLAÇANT :	57
IV.2.1. PREPARATION DE LA GACHEE :	57
IV.2.1. CONSERVATION DES EPROUVETTES :	58
IV.2.2. FORMULATION DE BETON AUTOPLAÇANT :	58
IV.2.2.1. LES CONSTITUANTS PRESENTS DANS LE MELANGE :	58
IV.2.2.2. LES COMPOSITIONS DES DIFFERENTS BETONS :	60
IV.3. ESSAIS DE CARACTERISATION DU BETON AUTOPLAÇANT A L'ETAT FRAIS : ..60	
IV.3.1. DETERMINATION DE LA CONSISTANCE AU CONE D'ABRAM'S :	61
IV.3.2. DETERMINATION DU RISQUE DE BLOCAGE A L'AIDE DE LA BOITE L :	62
IV.3.3. DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA SEGREGATION PAR L'EVALUATION DE LA STABILITE AU TAMIS :	63
IV.4. Essais de caractérisation du béton autoplaçant à l'état durci.....	65
IV.4.1. ESSAI DE COMPRESSION :	65
IV.4.2. ESSAI DE TRACTION PAR FLEXION :	66
IV.5. DETERMINATION DE LA RESISTANCE PAR LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS :	67
IV.5.1. ESSAI AU SCLEROMETRE :	67
IV.5.2. ESSAI D'AUSCULTATION DYNAMIQUE :	70
IV.6. CONCLUSION :	72

CHAPITRE V : Résultats et Discussions

V.1. INTRODUCTION :	74
V.2. RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT FRAIS :	74
-ESSAI D'ETALEMENT AU CONE D'ABRAM'S :	75

-ESSAI DE STABILITE AU TAMIS :	75
-ESSAI DE LA BOITE EN L :	76
-LA MASSE VOLUMIQUE :	76
V.3. RESULTATS DES ESSAIS A L'ETAT DURCI :	77
V. 3.1- LES ESSAIS DESTRUCTIFS (ED) :	78
- LA RESISTANCE A LA COMPRESSION :	78
- LA RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION :	80
V.3.2-LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS (END) :	82
- L'ESSAI A L'ULTRASON :	82
- L'ESSAI AU SCLEROMETRE :	84
V.4. CONCLUSION.....	85
CONCLUSION GENERALE.....	87
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	88
ANNEXES.....	90

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1: Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP	3
Figure I.2 : Exemples de comportements rhéologiques pour différents type de béton.....	5
Figure I.3 : Rhéomètres développés pour les bétons	7
Figure I.4 : Essai de la boîte	8
Figure I.5 : Essai de capacité de remplissage.....	9
Figure I.6 : Essai du tube en U.	10
Figure I.7 : Mesure de l'étalement des BAP.....	11
Figure. I.8: Essai de la boîte en L.....	12
Figure. I.9: Essai de stabilité au tamis.....	13
Figure. I.10. Dispositif de l'essai d'étalement modifié (J-Ring).....	14
Figure. I.11. Essai de l'entonnoir.....	15
Figure I.12. Mesure de la résistance à la compression.....	16
Figure I. 13 : Mesure de la résistance à la traction par flexion.....	17
Figure I. 14 : Classe de consistance des bétons et affaissement.....	18
Figure I.15. Pâte de ciment non adjuvantes.....	21
Figure I.16. Pâte de ciment d'un super-plastifiant Additionnée.....	21
Figure I.17- Action des super-plastifiants- Défloculation des grains de ciment.....	22
Figure I. 18- Influence de la qualité du super-plastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un béton.....	23
Figure I. 19- dispersion des granulats par excès de pâte.....	25
Figure I. 20- Phénomène de blocage des gravillons au droit d'un obstacle.....	25

Chapitre II

Figure II.1 Stratégies de traitement des déchets.....	31
Figure II.2 Valorisation des déchets.	32

Chapitre III

Figure III.1 Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique	40
Figure III.2 Essai d'équivalent de sable.....	45
Figure III.3 Courbes granulométriques des granulats.....	49

Figure III.4. Appareil de l'essai Los Angeles.....	51
Figure III.5 Ciment Portland Composé (CPJ) MATINE.	53
Figure III.6. Les copeaux plastiques... ..	55

Chapitre IV

Figure IV.1: Représentation schématique de l'essai d'étalement.....	62
FigureIV.2 : Blocage des granulats par la présence d'armatures.....	62
Figure IV.3 : Dimensions de la boîte en L (L-box).....	63
Figure IV.4 : Essai de la stabilité au tamis.	64
Figure IV.5 : L'appareil de l'essai de compression.....	65
Figure IV.6 : L'appareil de l'essai de traction par flexion.....	66
Figure IV.7 : Formule de calcul de la résistance de traction.....	67
Figure. IV.8: Essai de la porosité.....	68
Figure. IV.9: Marteau de Schmidt ou Scléromètre.....	69
Figure. IV.10. Principe de fonctionnement d'un scléromètre.....	69
Figure. IV.11. Appareil d'auscultation sonore.....	71

Chapitre V

Figure V.1: L'étalement en fonction de type de béton.....	75
FigureV.2 : L'indice de ségrégation en fonction de type de béton	75
Figure V.3 : Le taux de remplissage en fonction de type de béton	76
Figure V.4 : La masse volumique en fonction de type de bétons	76

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Les propriétés essentielles des BAP frais, Caractéristiques Rhéologiques fondamentales des BAP	4
---	---

Chapitre III

Tableau III.1 : Analyse granulométrique du sable	41
Tableau III.2. La masse volumique absolue du sable	42
Tableau III.3. La masse volumique apparente à l'état lâche	43
Tableau III.4 : La masse volumique apparente à l'état compact	43
Tableau III.5 : Porosité, compacité et indice des vides.....	44
Tableau III.6 : Equivalent de sable.	46
Tableau III.7. Classification de la nature du sable en fonction de l'E.S	46
Tableau III.8. La teneur en eau du sable.	47
Tableau III.9 : Le degré d'absorption d'eau du sable	48
Tableau III.10 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	48
Tableau III.11 : Analyse granulométrique du gravier 8/16	49
Tableau III.12. La masse volumique apparente du gravier.....	50
Tableau III.13. La masse volumique absolue du gravier.	51
Tableau III.14 : Caractéristiques mécaniques du gravier.....	52
Tableau III.15 : Classification du gravier en fonction du coefficient de Los Angeles	52
Tableau III.16 : Caractéristiques physiques du marbre	54
Tableau III.17. Caractéristiques chimiques du marbre	54
Tableau III.18. Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage	55

Chapitre IV

Tableaux IV.1. Classement de la formulation selon le pourcentage.....	64
--	----

Chapitre V

Tableaux V.1. Résultats d'essais sur les bétons frais	74
Tableaux V.2. Résistance à la compression.....	78
Tableaux V.3 .Résistance à la traction par flexion	80
Tableaux V.4 .Les essais à l'ultrason	82

Tableaux V.5. Les essais au scléromètre84

INTRODUCTION GENERALE

Le béton autoplaçant (BAP) est une véritable richesse culturelle en béton, caractérisé par sa fluidité, sa déformation et sa facilité de pose sans vibration, il s'accorde parfaitement avec les formes de moules les plus complexes.

Ainsi, il permet la réalisation de formes ou de structures complexes à haute densité de résistance tout en offrant une meilleure qualité de surface en général. Le béton est qualifié d'autoplaçant lorsque le matériau final répond à certaines exigences à l'état frais et à l'état durci, sa composition doit donc contenir au moins un additif chimique et minéral auxiliaire pour répondre aux conditions d'ouvrabilité et de stabilité. [1]

Le béton autoplaçant présente de nombreux avantages, notamment :

Avantages techniques :

- Facilité et rapidité de mise en œuvre du béton.
- Couler du béton dans des environnements fortement rebutés.
- Réalisation d'objets de formes complexes.

Avantages économiques :

- Faible coût de la main d'œuvre et temps de coulage du béton.
- L'absence de systèmes de vibration, réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et autour du site.

Avantages écologiques :

- Valorisation des déchets de construction (valorisation de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières et usines de concassage).
- La diminution de la quantité de dioxyde de carbone émise par l'industrie du ciment (due à la diminution de la quantité de ciment nécessaire pour le BAP).

L'utilisation de déchets recyclés dans le béton présente de nombreux avantages au niveau environnemental, humain, technologique et économique qui présentent un intérêt industriel important et croissant. [2]

Les déchets plastiques constituent une menace pour la santé humaine et tous les écosystèmes. La mise en place de stratégies et de recyclage efficace des déchets plastiques est essentielle pour réduire leur impact sur l'environnement. [3]

L'objectif de ce travail est de discuter la faisabilité de l'ajout de déchets plastiques et de son effet sur le béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres :

Le premier chapitre présente une généralité sur le béton autoplaçant, les constituants du BAP (Le ciment, Les granulats, les fillers, L'eau de gâchage, Les adjuvants, Les super-plastifiants), et caractérisation d'un béton auto plaçant (caractérisation du béton à l'état frais à l'état durci), Modes de formulation des BAP.

Le deuxième chapitre est consacré à la valorisation et au recyclage des déchets ainsi qu'aux différents types de déchets et les différents déchets utilisés en génie civil.

Le troisième chapitre est consacré aux caractéristiques des matériaux utilisés et composition du béton.

Le quatrième chapitre présenté Techniques expérimentales. Et les formulations des différents bétons d'étude (Essais sur Bétons frais. Essais sur Bétons durci).

Le cinquième chapitre présente Résultats et discussions, résume les essais et les résultats des expériences réalisées durant notre étude et l'analysées.

Conclusion générale : présente les principales conclusions tirées à partir des résultats obtenus lors de notre recherche expérimentale.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Revue générale sur le béton autoplaçant

I.1: Introduction :

Au Japon, le nombre d'ouvriers qualifiés dans la construction n'a cessé de diminuer depuis le début des années 1980, engendrant une perte de connaissance, notamment dans les techniques de vibration du béton. L'utilisation de bétons très fluides, ne nécessitant pas d'apport d'énergie extérieure pour le serrage, est apparue comme une solution possible à ce problème [4]. C'est ainsi qu'est né le concept des bétons auto-compactants ("self-compacting concrete", traduit par béton autoplaçant ou béton autonivelant). Outre leur facilité de mise en œuvre, de tels bétons présentent aussi l'intérêt de réduire le temps de travail sur chantier.

Les bétons autoplaçants (BAP) se distinguent donc des bétons dits ordinaires (BO), ou bétons à vibrer, par leurs propriétés à l'état frais [5, 6]. Ils sont capables de s'écouler sous leur propre poids, quel que soit le confinement du milieu, et restent homogènes au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et une fois en place (absence de ségrégation statique). Pour acquérir ces propriétés, les BAP sont formulés différemment des BO. Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau et d'une addition, est privilégiée au détriment des gravillons (figure I.1). En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.

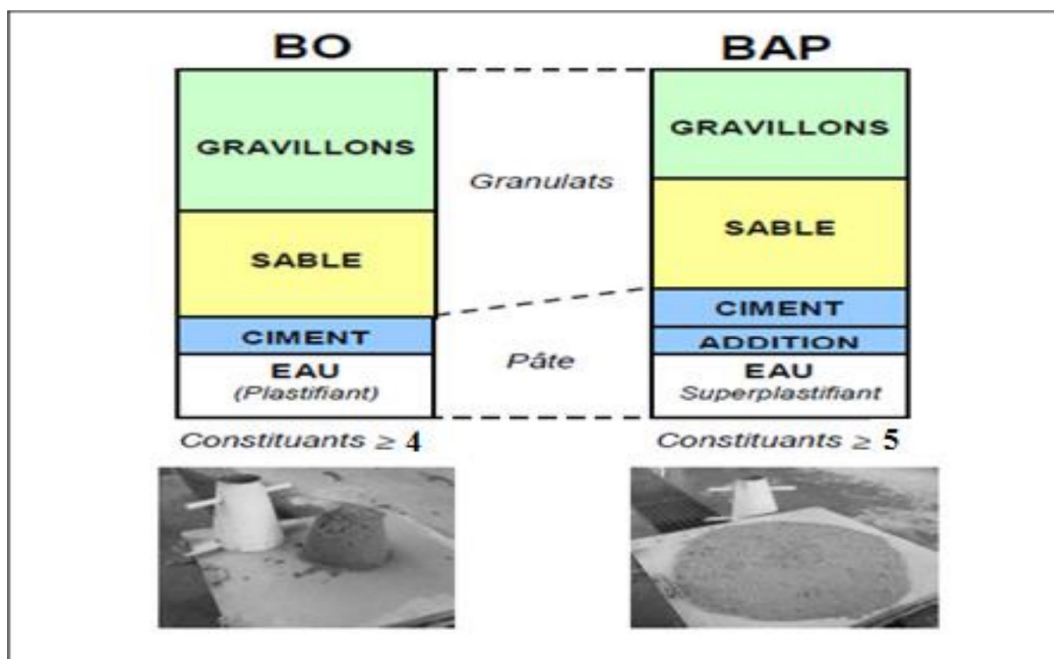


Fig. I.1: Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP [7].

I.2. Propriétés des BAP à l'état frais :

I.2.1. Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP :

Pour évaluer les propriétés et les qualités à l'état frais d'un béton autoplaçant, plusieurs types d'essais normalisés et non normalisés ont été proposés. Certains évaluent la consistance et la déformabilité, tandis que d'autres s'intéressent aux mesures de la stabilité du béton.

De nombreux tests simples ou empiriques ont été mis au point. Ces tests ont pour but de mieux caractériser le comportement du béton autoplaçant ou de valider son utilisation.

Tableau I.1 : Les propriétés essentielles des BAP frais,
Caractéristiques Rhéologiques fondamentales des BAP. [8]

<p>Pour une excellente Déformabilité</p>	<p>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</p>
<p>Pour une bonne stabilité</p>	<p>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</p>
<p>Pour un moindre risque de blocage</p>	<p>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</p>

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.

L'archéologie donne les relations entre contraintes et déformations d'un 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 (fig.I-2) 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 binghamien si la courbe d'écoulement est une droite, qui a pour équation : $\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma}$

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 $\dot{\gamma}$ la vitesse de déformation ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

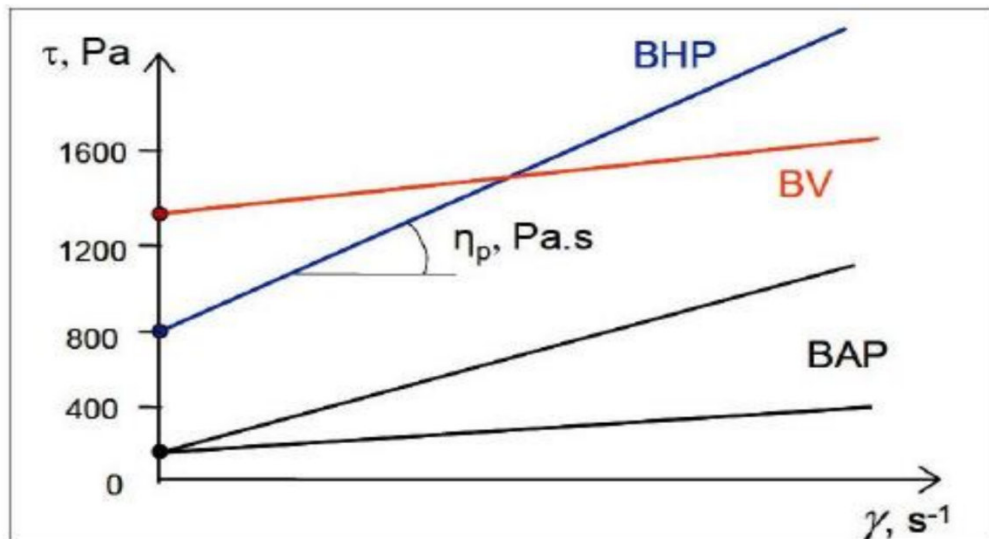


Fig. I.2. Exemples de comportements rhéologiques pour différents types de béton [6].

En ce qui concerne les bétons auto-plaçants, des auteurs [10] ont montré que leur équation de comportement suit le modèle de Herschel-Bulkley dont l'équation de comportement est la suivante :

$$\tau = \tau_0 + a \cdot \dot{\gamma} \cdot b$$

Où

a : paramètre de viscosité

b : paramètre rhéologique.

Toutefois, ce modèle est plus exigeant que celui de Bingham car il nécessite la détermination d'un paramètre supplémentaire.

Ces grandeurs (seuil de cisaillement, viscosité plastique), permettant de définir le comportement d'un béton lors de sa mise en place, sont quantifiables à partir d'appareils appelés rhéomètres. À ce jour, les principaux dispositifs expérimentaux utilisés pour des mesures sur béton frais sont :

- Le viscosimètre à plaque parallèle BML ;
- Le rhéomètre coaxial BTRHÉOM ;
- Le rhéomètre coaxial CEMAGREF-IMG ;
- Le rhéomètre coaxial RHÉOCAD (mis au point par la société CAD

Instrumentation avec l'aide de M. Vernet, ingénieur au CTG.

Tous ces appareils mesurent le couple résistant du béton en fonction de la vitesse d'écoulement imposée (par mise en rotation de divers mobiles ou palettes). Ces deux données permettent ensuite d'obtenir, par différents calibrages, les grandeurs caractéristiques de l'écoulement du béton, à savoir le seuil de cisaillement et la viscosité plastique.

Cependant, la présence de granulats de tailles variées dans le béton ne permet pas de définir un matériau type pour tous ces rhéomètres qui servirait de référence à toutes les mesures. Par conséquent, étant donné les caractéristiques inhérentes à chaque rhéomètre, les comparaisons de résultats d'un appareil à l'autre ne sont pas forcément évidentes.

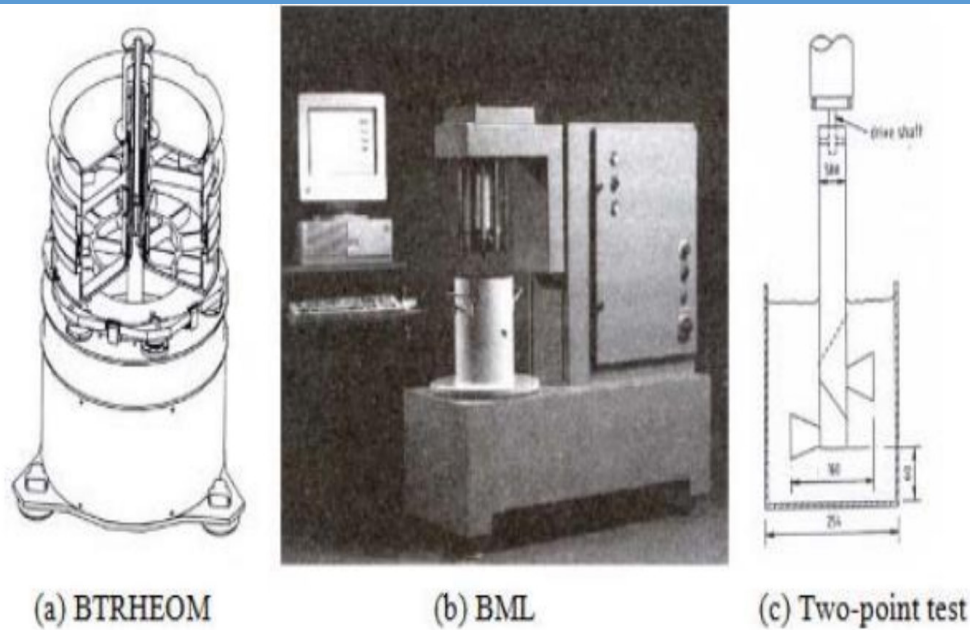


Fig. I.3. Rhéomètres développés pour les bétons.

I.2.2. Essais de caractérisation des BAP :

I.2.2.1. 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. [9].

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.

I.2.2.2. Essai de la boîte :

C'est un des premiers essais utilisés. Un échantillon de 30 litres de béton est placé dans une boîte dont le fond est constitué d'une grille et d'une trappe amovible (Figure I.4). Les dimensions de la boîte sont 30 cm par 30 cm et les barres, de 16 mm de diamètre, sont distantes de 50 mm (entre axes). Le volume de béton réussissant à passer le treillis donne une idée de la capacité de remplissage. Pour un béton ayant une excellente capacité de remplissage, la quantité de béton traversant le treillis peut être aussi élevée que 95% de la masse totale de béton contenu dans la boîte. Figure I.4 : Essai de la boîte (ou de la passoire). Cet essai a notamment permis d'observer les phénomènes de blocage par formation de voûtes dans les bétons très fluides.

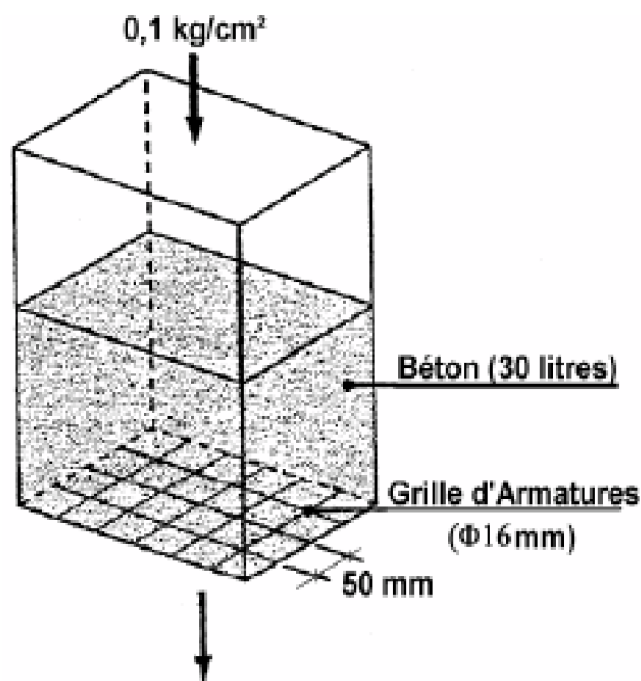


Fig. I.4. Essai de la boîte [11].

I.2.2.3. 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).

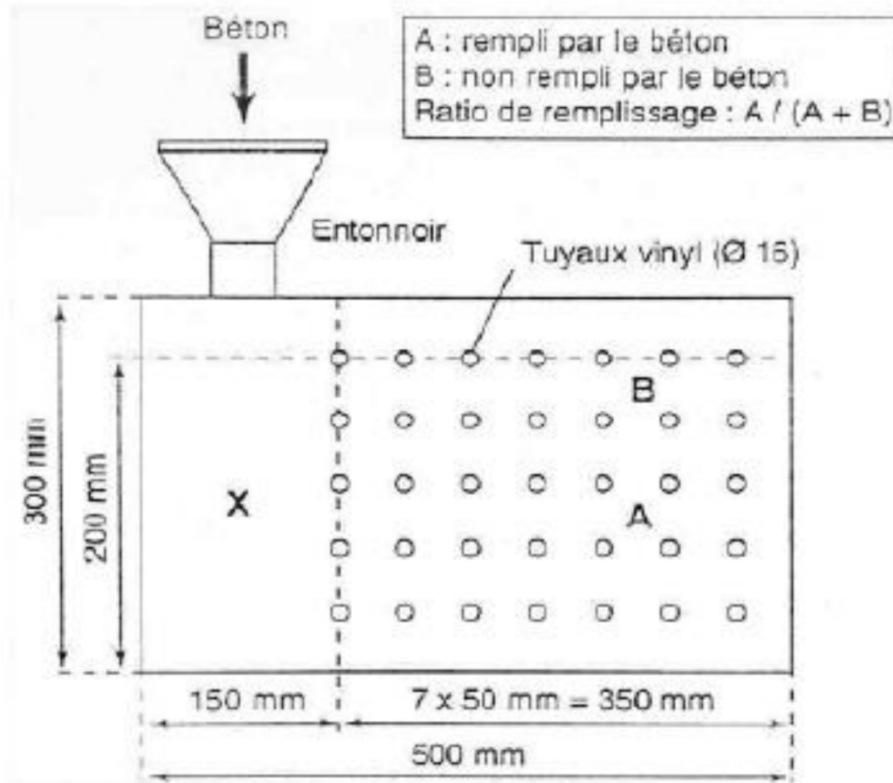


Fig. I.5. Essai de capacité de remplissage [12].

I.2.2.4. Essai du tube en U :

Le tube en U (figure I.6) 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.

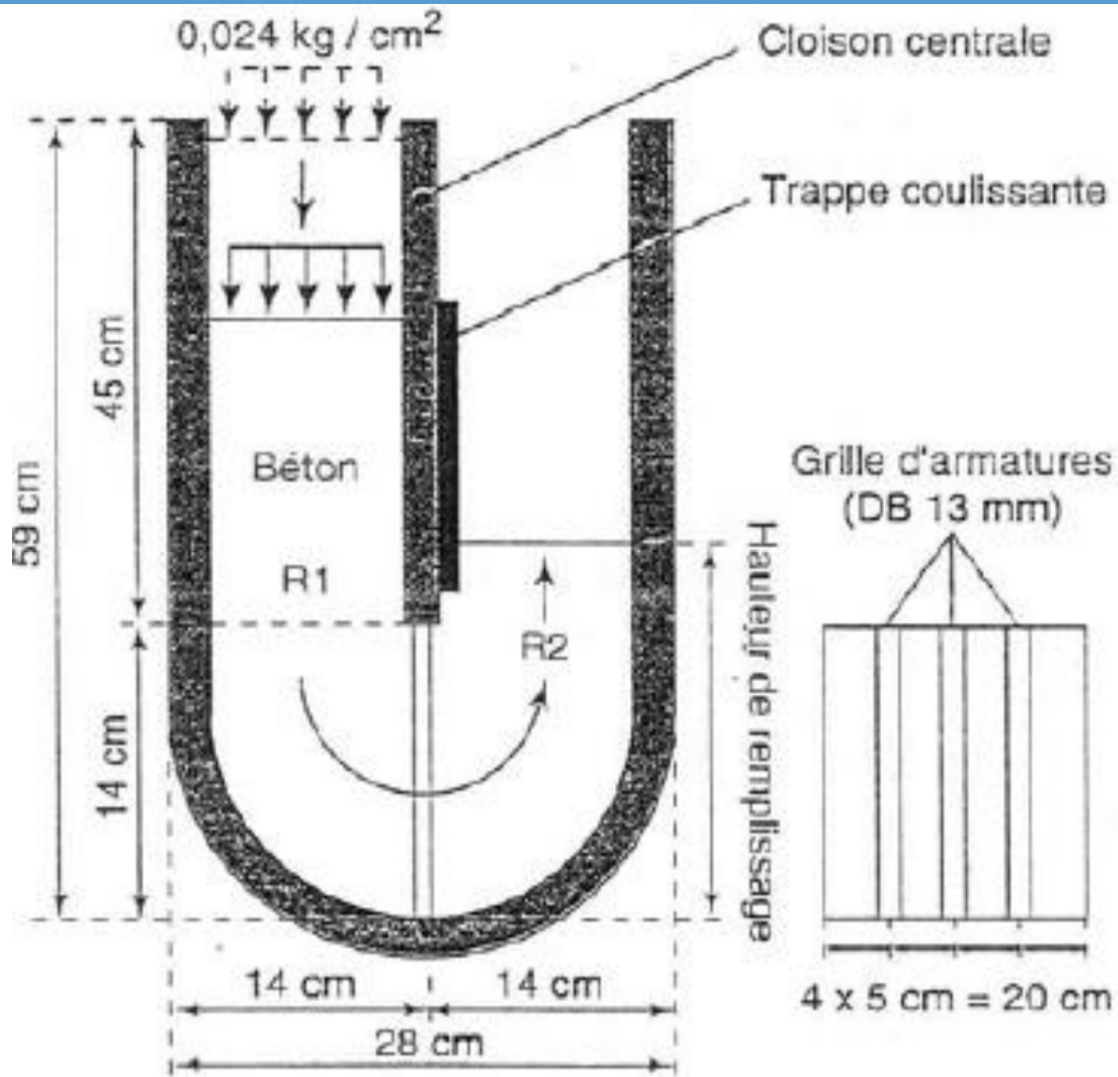


Fig. I.6. Essai du tube en U.

I.2.3. Déformabilité :

La facilité du béton à s'écouler, car l'eau libre qui est définie comme étant l'eau non retenue, chimiquement ou physiquement, par les particules fines (ciment et ajouts minéraux) ou le sable, serait le principal facteur qui contrôle la déformabilité.

I.2.3.1. Essai d'étalement (slump flow) :

L'essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams (figure I.7). 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 [12, 13].

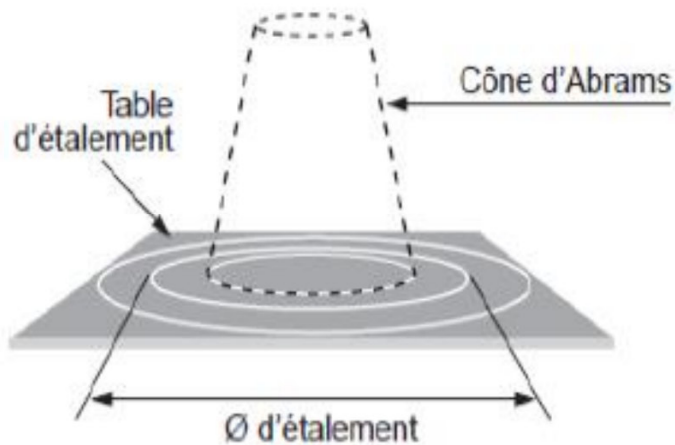


Fig. I.7. Mesure de l'étalement des BAP.

Dans les pays germanophones, on utilise plus volontiers la table DIN (ou table à secousse). Un cône, de dimensions différentes celles du cône d'Abrams, est démoulé sur une table et soumis à 15 chocs successifs. Son étalement fournit un moyen d'appréciation de la consistance.

I.2.3.2. Essai de la boîte 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-8.

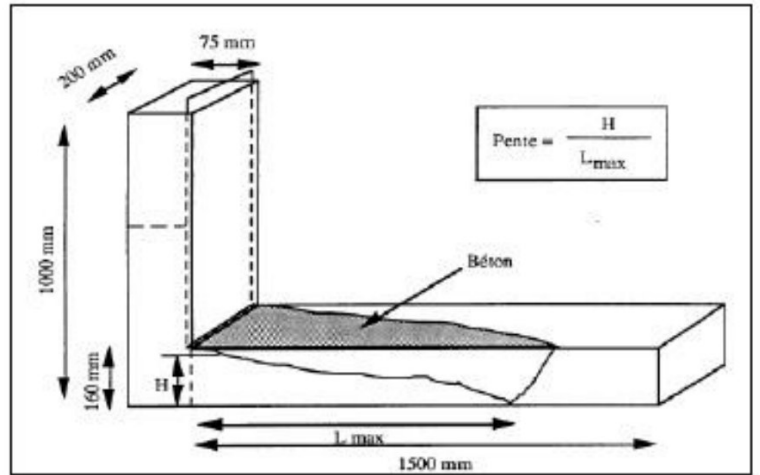


Fig. I.8. Essai de la boîte en L.

Pour un BAP, cette dernière doit être la plus faible possible. Selon les recommandations de L'AFGC (Association Française du Génie Civil)[5], le taux de remplissage doit être supérieur à 0.8. Notons que les distances entre les barres d'acier représentent un ferrailage très dense (100 à 350 kg/m³) pour des ouvrages de génie civil avec un espace libre entre barres d'au moins 60 mm. Pour des applications moins ferrillées, il est possible d'alléger la grille de ferrailage en ne plaçant que deux barres avec un espace libre de 58 mm. En cas de blocage des gravillons, il convient de diminuer la teneur en granulats d'une part, et d'augmenter le volume de pâte en maintenant le rapport Eau/Liant constant d'autre part.

I.2.3.3. 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.

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 %.



Fig. I.9. Essai de stabilité au tamis.

I.2.3.4. 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 auto-plaçant 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.

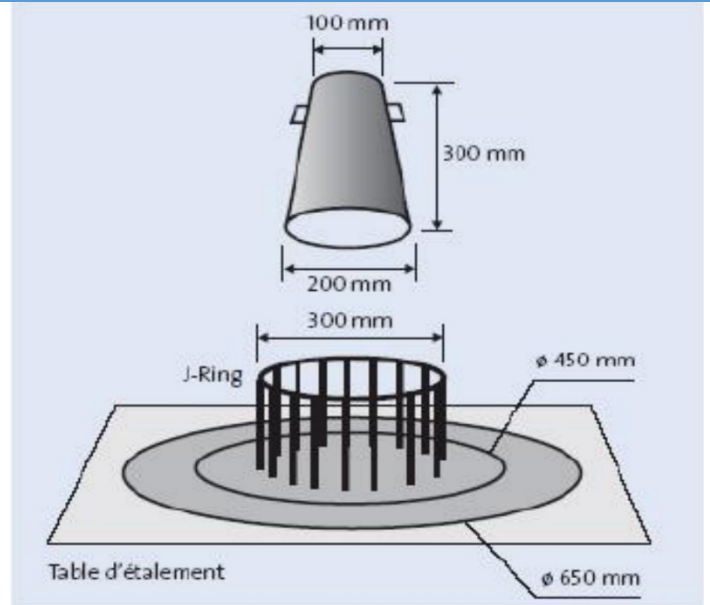
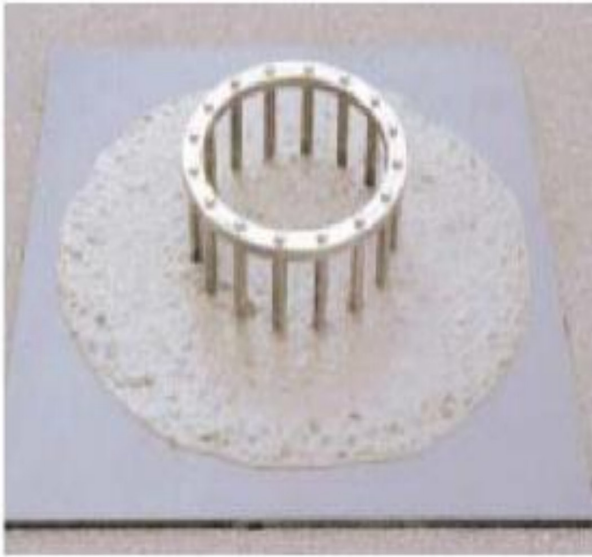


Fig. I.10. Dispositif de l'essai d'étalement modifié (J-Ring)

I.2.3.5. Essai de V-funnel :

La ségrégation se définit comme une perte d'homogénéité du béton. Elle peut se produire 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 ségrégabilité 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.

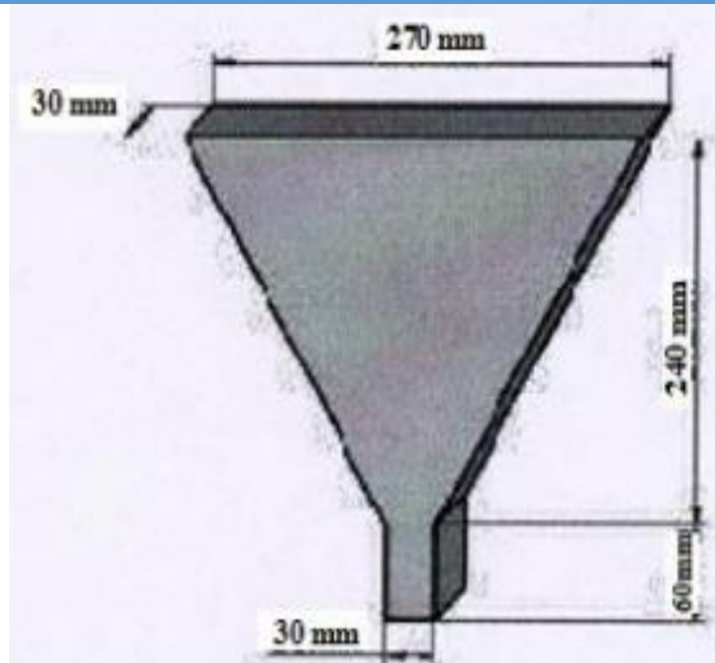


Fig. I.11. Essai de l'entonnoir

I.3 . 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 ;

I.3.1. 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-12). La contrainte de compression à la rupture [Pa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée.[17]



Fig. I.12. Mesure de la résistance à la compression

I.3.2. 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.13). Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont prismatiques de dimensions 7x7x28 cm³.

La résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance des matériaux suivante :

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

Avec le moment de flexion :

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

Où

F : est la charge de rupture,

L : la portée,

I : l'inertie de flexion,

a: le côté du prisme. [17]



Fig. I. 13 : Mesure de la résistance à la traction par flexion

I.4. 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 ;

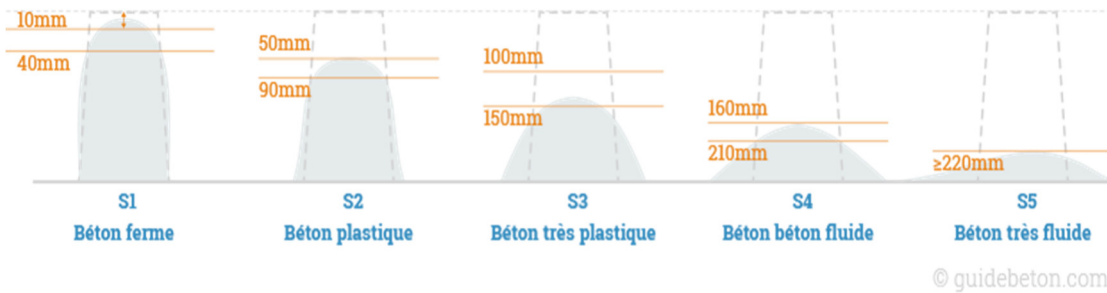


Fig. I. 14 : Classe de consistance des bétons et affaissement

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.[15]

I.5. 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.

I.5.1 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.

- **Les granulats :**

Les granulats roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés. Afin d'empêcher tout risque de blocage du BAP par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm. Le mélange pour béton (granularité) est caractérisé par une teneur élevée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2 mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De même, la proportion de farines ($< 0,125$ mm) ne devrait pas être trop faible, l'optimum étant situ. Entre 4 et 8%. Le choix d'une granularité continue appropriée est très important, étant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment. Afin d'assurer une bonne stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé. Partir de plusieurs fractions [13].

- **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.

- **L'eau de gâchage :**

Toute eau du réseau public d'eau potable convient pour la fabrication de béton Auto-plaçant. Etant donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la capacité d'auto-plaçant du béton, il est indispensable de s'écarter le moins possible de la valeur planifiée. Il est ainsi très important de mesurer et de prendre en compte l'humidité des granulats et tout spécialement du sable. Cas échéant, on tiendra également compte de la teneur en eau des adjuvants.

I.5.2 Additions minérales :

Les BAP sont caractérisés par une fluidité importante et surtout une diminution de la ségrégation et du ressuage (par rapport au béton vibré).

Pour obtenir ces propriétés et pour un meilleur arrangement granulaire, on ajoute de fortes teneurs en additions minérales [14]

Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP :

1. Les fillers calcaires
2. Les pouzzolanes naturelles
3. Le laitier de haut fourneau
4. La fumée de silice
5. Les cendres volantes,...

I.5.3 Adjuvants chimiques :

- **Les super-plastifiants**

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.

Le mode d'action des super-plastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit :

Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment 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.

Les super-plastifiants 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 du ciment et libère l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité [15].

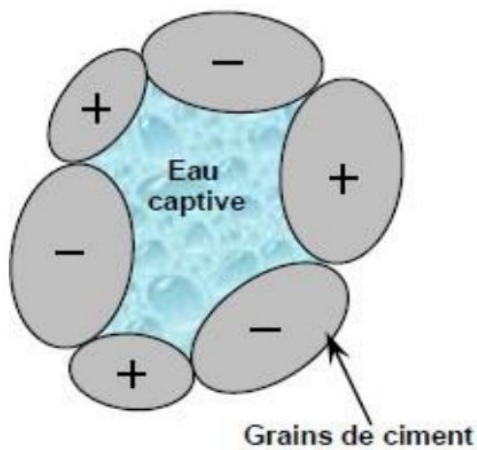


Figure I.15. Pâte de ciment non adjuvantes Additionnée [16]

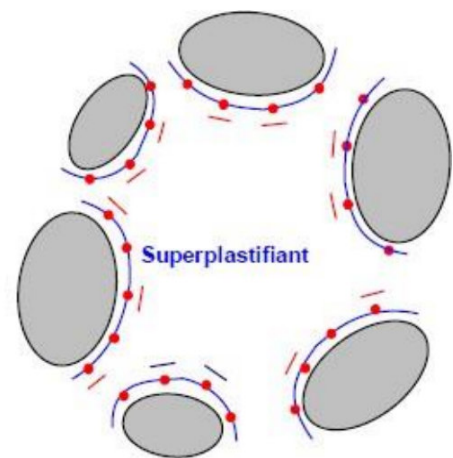


Figure I.16. Pâte de ciment d'un super-plastifiant

- **Les agents colloïdaux (agent de viscosité) :**

Généralement les fluidifiants diminuent la viscosité du béton, ce qui rend le matériau plus sensible vis-à-vis du phénomène de ségrégation. Les agents de viscosité (qui se présentent généralement sous forme de poudre) ont, eux, la propriété essentielle de modifier le comportement rhéologique des milieux aqueux dans lesquels ils sont utilisés (ce rôle modificateur peut aller du simple épaissement jusqu'à la gélification) et peuvent être utilisés avec intérêt dans la composition des BAP.

I.6. Influence des paramètres de formulation sur les propriétés à l'état frais :

I.6.1 Rôle des adjuvants :

➤ Utilisation de super-plastifiant :

L'apparition des bétons auto-plaçant et des bétons à Hautes performances (BHP) est fortement liée aux progrès réalisés dans le domaine des adjuvants et plus particulièrement celui des super-plastifiants (SP). [9]

Les super-plastifiants permettent d'obtenir des bétons très fluides. Ces fluidifiants ont le rôle de défloculants, [9] ; L'action principale des super-plastifiants est de défloculer les grains de ciment. Une action de répulsion électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. L'eau piégée par les flocs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton (Figure I.17). Il est alors possible de mettre en œuvre des bétons très fluides, avec des rapports E/C faibles.

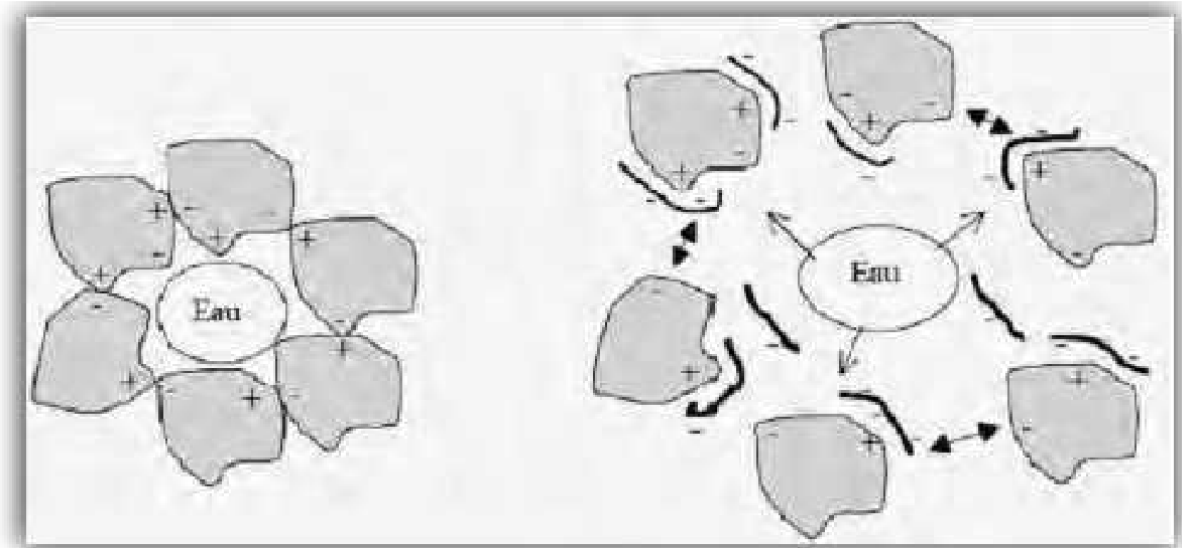


Figure I.17- Action des super-plastifiants- Défloculation des grains de ciment. [13]

L'ajout d'un super-plastifiant aide à augmenter la fluidité. La (Figure I.17) montre par exemple quel 'étalement augmente très fortement à partir d'un certain dosage en super-plastifiants. [13]

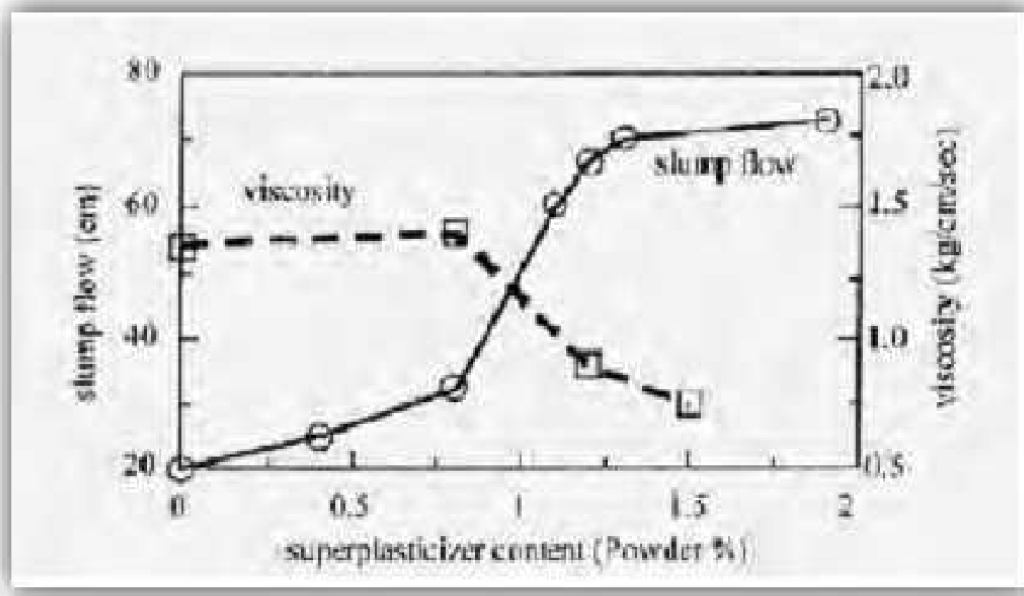


Figure I. 18-Influence de la quantité du super-plastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un béton. [13]

Flatt et Houst [13] définissent l'action des super-plastifiants en trois mécanismes :

- Une partie est adsorbée,
- Une partie est consommée par les réactions avec les hydrates,
- Une partie, en excès, reste en solution.

Ces auteurs [13] montrent qu'une couche de gel ou de monosulfo-aluminate (AFm) peut se former autour du ciment ce qui augmente la surface que doit recouvrir le super-plastifiant pour disperser les grains. Donc, plus le ciment est réactif plus la quantité de polymère à ajouter sera importante.

Sugamata et al. [13] ont étudié l'influence de différents super-plastifiants et de leurs dosages sur le maintien rhéologique dans le temps d'un mortier. Leurs résultats montrent que l'augmentation du dosage de super-plastifiants 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 super-plastifiants sont donc utilisés à un dosage proche du dosage à saturation. Différents auteurs [13] ont montré que le moment d'introduction du super-plastifiant lors du malaxage joue un rôle sur le dosage à saturation. Si l'introduction est retardée, le dosage à saturation est plus faible, i.e. il est obtenu pour une plus faible quantité de super-plastifiants. Ceci est en accord

avec ce que nous avons vu, car si l'hydratation du ciment est amorcée alors la consommation du super-plastifiants par les hydrates sera moins importante. [13]

Ainsi, le fait de retarder son introduction, permet au super-plastifiant d'être plus efficace et d'obtenir des mélanges plus fluides que s'il avait été introduit en début de malaxage Les BAP contiennent des super-plastifiants permettant d'obtenir la fluidité souhaitée. Toutefois un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation [13] peut augmenter la sensibilité du béton a des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage. Il est possible d'utiliser un plastifiant en synergie avec un super-plastifiant.

I.6.2 Volume de pâte élève :

Les formules de bétons auto nivelant actuellement réalisées au Japon et au Canada se caractérisent par un fort dosage en liant. En effet, ces bétons ont souvent des teneurs en liant supérieurs à 500 Kg/m³ [13]. De plus les chercheurs japonais et canadiens ont montré l'inter et d'utiliser des fortes teneurs en additions minérales (laitiers, cendres volantes, fumées de silice, additions calcaires, etc.) an d'obtenir a la fois une grande fluidité et une bonne stabilité du béton.[13]

Les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons. C'est pourquoi, les BAP contiennent un volume de pate (ciment + additions + adjuvants + eau efficace + air) important, typiquement de 330 à 400 l.m³, dont le rôle est d'écarter 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 % [13], et qu'un super-plastifiant est employé pour fluidifier la pâte.

Les frottements entre granulats sont source de limitation vis-à-vis de l'étalement et de la capacité au remplissage des bétons. Le rôle de la pâte (ciment + additions + eau efficace + air) étant précisément d'écarter les granulats les uns des autres, son volume dans les BAP est donc élevé (figure I.19). [9]

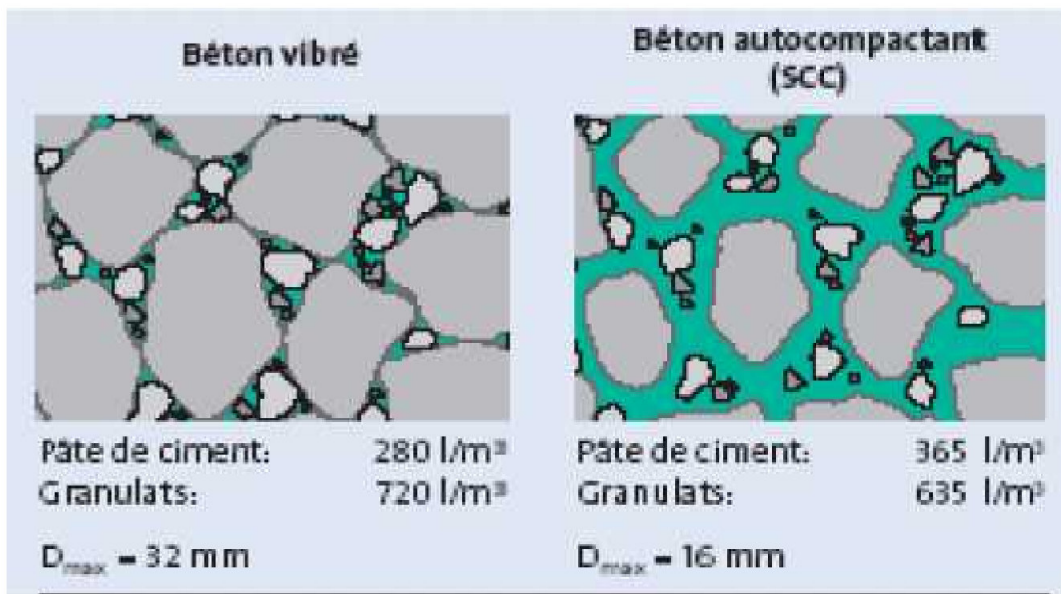


Figure I. 19- dispersion des granulats par excès de pâte. [14]

I.6.3. 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 figure I.4, 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. [13]

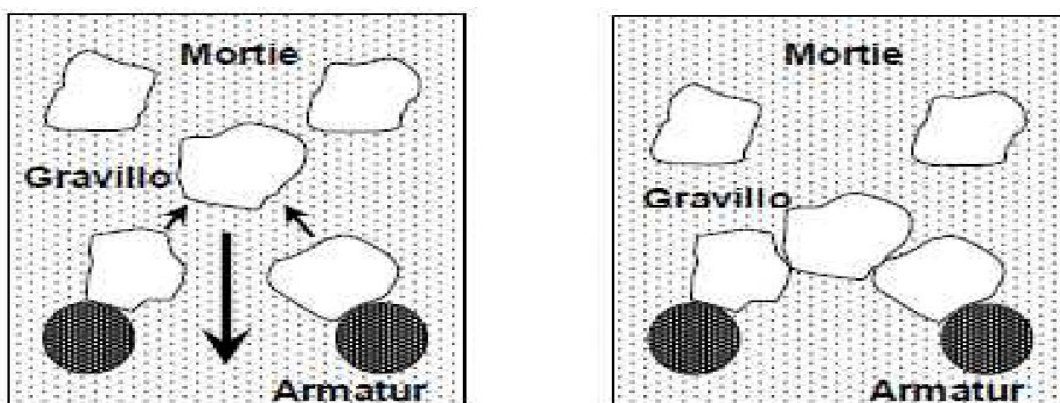


Figure I. 20- Phénomène de blocage des gravillons au droit d'un obstacle.

Tous ces paramètres de formulations conduisent à des compositions différentes des BV. Les BAP présentent à la fois une grande fluidité, l'utilisation de superplastifiants ainsi qu'un volume de pâte importante.

I.7. FORMULATION DES BAP :

La mise au point d'une formule de BAP est beaucoup plus complexe, parce que, d'abord, les constituants sont au nombre minimal de six, contre quatre dans le cas des BO. Ensuite, le cahier des charges d'un BAP comporte plus de clauses, en particulier à l'état frais ; il faut assurer, en plus de l'étalement, la capacité de remplissage et la stabilité. Enfin, et surtout, les propriétés des BAP sont contradictoires ; un béton riche d'une pâte fluide est très sensible à la ségrégation [12].

Depuis l'invention du BAP, aucune méthodologie pratique de formulation n'a été établie. Les différentes propriétés recherchées rendent la formulation du BAP relativement compliquée. De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un BAP. Nous rapportons un exposé général sur les approches principales [13].

I.7.1. Méthode japonaise :

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi (1990), 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. 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.

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 (E/C) et filler sur ciment (F/C) 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 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir [13].

I.7.2 L'approche suédoise :

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise citée ci-dessus, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation. Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G/S qui vérifie les propriétés rhéologiques recherchées. Les dosages des fines, de l'eau et du super-plastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement, et une résistance souhaitée. Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Cependant, on ne peut pas appliquer le critère de blocage à n'importe quel type de granulats [13].

I.7.3. Formulation par volume de pâte minimal :

Dans cette méthode le béton est considéré comme un matériau bi-phasique, une phase solide constitué par les granulats et une phase liquide qui est la pâte (eau, liant, adjuvants). Les chercheurs supposent que la pâte joue deux rôles principaux dans un BAP : D'une part, elle assure la fluidité du mélange, ce qui limite les frottements entre les granulats, d'autre part elle écarte les gravillons pour éviter le phénomène de blocage. Pour assurer ces deux rôles les chercheurs jugent qu'il doit exister un volume minimum de pâte [13].

I.7.4. Formulation par optimisation du squelette granulaire :

Sachant que la résistance à la compression augmente avec la compacité de la pâte et que l'ouvrabilité est tributaire de l'arrangement du squelette granulaire. La formulation des bétons est basée sur l'optimisation de la porosité du système, en prenant en considération tous les grains solides, du ciment aux gravillons. Si la phase interstitielle est l'eau de gâchage, et non plus la pâte. Plus la quantité d'eau qui écarte les grains est importante, plus la suspension est fluide. A quantité d'eau constante, si on minimise la porosité de l'empilement de grains, on optimise en conséquence le volume d'eau disponible pour fluidifier le mélange. Cet exemple simple montre donc le lien entre compacité et rhéologie [13].

I.7.5. Méthode basée sur un plan d'expérience :

Le principe de cette méthode est l'utilisation d'un plan d'expérience pour connaître l'effet des paramètres de composition du béton. KHAYAT et al ont réalisé une telle étude avec les facteurs suivants :

Le volume de gravillons, la masse de fines (C+A), le rapport massique eau sur fines $E/(C+A)$, la masse de super-plastifiant et la masse d'agent de viscosité. Chaque facteur est varié sur une plage comportant cinq points, ce qui élève le nombre de compositions effectuées à 25. Au final, les modèles obtenus sont fournis avec les résultats des essais, notamment l'étalement et le taux de remplissage, en fonction des différents facteurs. Même si ces modèles ne sont exploitables que pour les constituants utilisés dans l'étude, cette approche fournit surtout un support pour corriger une formule ne répondant pas, par exemple, aux critères de l'AFGC.

I.8. Conclusion :

Ce chapitre résume la description des principaux composants utilisés dans la fabrication des bétons autoplaçants et leurs propriétés à l'état frais et durci, ainsi qu'une description de l'effet des traitements de formulation sur les propriétés à l'état frais.

CHAPITRE II : VALORISATION DES DÉCHETS

II.1.Introduction :

Un déchet est défini comme " Tout résidu d'un processus de production, de transformation, ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont 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 ou des odeurs. D'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement. [19]

Définit le déchet des points de vues économique et juridique comme suit :

- **Du point de vue économique** : un déchet est tout objet dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur. Pour s'en débarrasser, il paye un service ou s'en charge lui-même,
- **Du point de vue juridique** : la définition du déchet permet de distinguer une conception subjective et une conception objective. Selon la conception subjective, une propriété devient un déchet lorsque le détenteur a la volonté de s'en débarrasser. Elle lui appartient aussi longtemps qu'elle demeure dans son espace privé. Cette propriété appartient à la municipalité lorsqu'elle est déposée sur la voie publique car, en effet, par cet acte, le détenteur manifeste clairement sa volonté de l'abandonner. Selon la conception objective, un déchet est tout objet dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de sa valeur économique. Une autre question vient immédiatement à l'esprit : «que fait-on des déchets?». Car le problème se situe bien à ce niveau et se pose de façon d'autant plus aiguë que la quantité des déchets augmente continuellement. Les pays à fort niveau de consommation ou de production ont été les premiers à se trouver confrontés au problème, car l'accumulation des déchets occasionnait des nuisances insupportables : pollutions diverses et problèmes de santé publique [2].

II.2. Recyclage des déchets :

❖ 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. [20]

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),
- Les déchets non dangereux, qui ne figurent pas dans le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002,
- 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

❖ 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. [21]

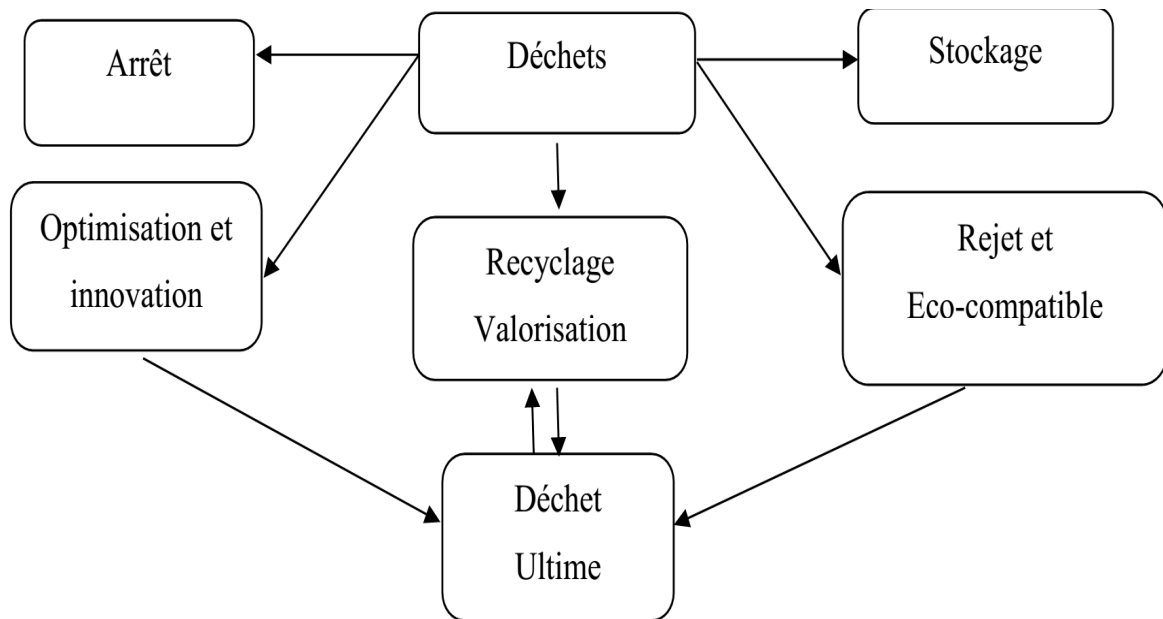


Figure II. 1 : Stratégies de traitement des déchets. [21]

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.

Les objectifs précédents sont illustrés dans la figure II.2

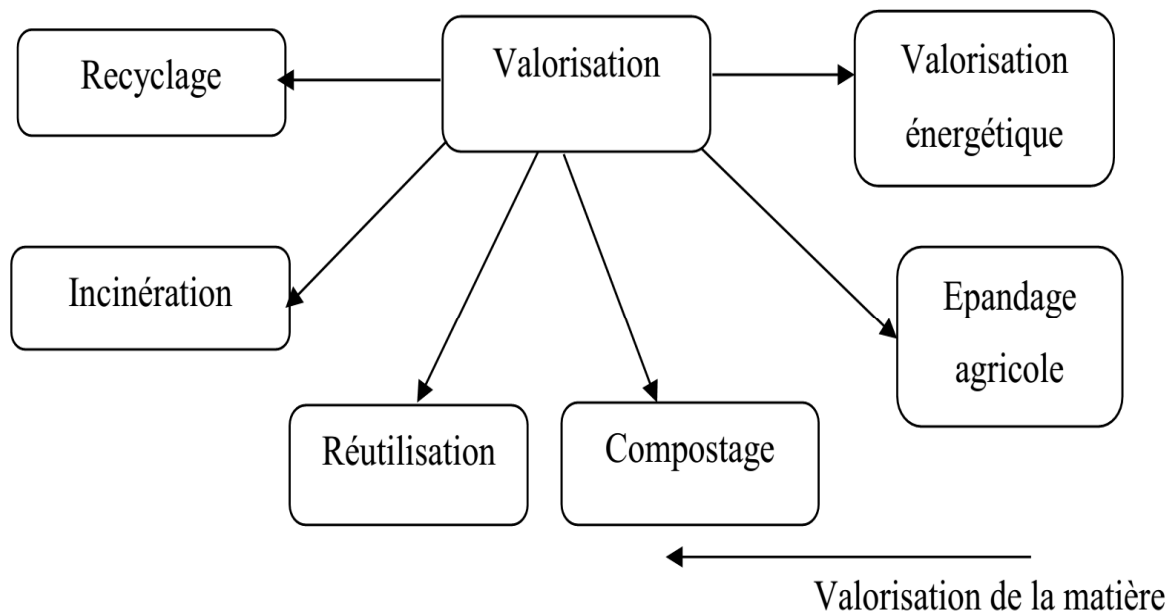


Figure II. 2: Valorisation des déchets [21].

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.

II.4. Différents types de déchets :

II.4.1. 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. [22]

II.4.2. 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. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants : Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

II.4.3. 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).

II.4.4. Déchets verts :

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

II.4.5. 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)
- ❖ 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

II.4.6. 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. [22]

II.4.7. Déchets dangereux :

II.4.7.1. 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....

II.4.7.2. 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.

II.5. Gestion des déchets :

II.5.1. Définition :

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. L'accent a été mis, ces dernières décennies, sur la réduction de l'effet des déchets sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

La gestion des déchets concerne tout les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon qu'on se trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est

habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité. [23]

II.5.2. 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**

Classe les politiques de gestion des déchets selon la préférence qu'on doit leur accorder. La hiérarchie des stratégies a plusieurs fois changé d'aspect ces dix dernières années, mais le concept sous-jacent est demeuré la pierre angulaire de la plupart des stratégies de gestion des déchets : l'objectif est d'utiliser au maximum les matériaux et de générer le minimum de rebuts.

Certains experts en gestion des déchets ont récemment ajouté un « quatrième R » : «Repenser », qui implique que le système actuel a des faiblesses et qu'un système parfaitement efficace exigerait qu'un regard totalement différent soit porté sur les déchets. Certaines solutions "repensées" sont parfois peu intuitives. On peut prendre par exemple un cas dans l'industrie textile. Afin de réduire la quantité de papier utilisée pour les patrons, il a été conseillé de les découper dans de plus grandes feuilles, afin de pouvoir utiliser les chutes pour découper les petites pièces du patron. Ainsi, il y a une réduction du résidu global. Ce type de solution n'est bien entendu pas limité à l'industrie textile

La réduction à la source nécessite des efforts pour réduire les déchets toxiques et autres résidus en modifiant la production industrielle. Les méthodes de réduction à la source impliquent des changements dans les processus de fabrication, les apports de matières premières et la composition des produits. Parfois le principe de « prévention de la pollution » indique en fait la mise en œuvre d'une politique de réduction à la source.

Une autre méthode de réduction des déchets à la source est d'accroître les incitations au recyclage. Plusieurs villes aux États-Unis ont mis en place des taxes dont le montant est fonction des

quantités d'ordures déposées (Paye quand tu jettes : Pay As You Throw- PAYT) qui se sont révélées efficaces pour réduire le volume des déchets urbains.

L'efficacité des politiques de réduction à la source se mesure à l'importance de la réduction de la production de déchets. Une autre approche, plus controversée, est de considérer la réduction de l'utilisation de substances toxiques. On s'intéresse ici à réduire l'utilisation de substances toxiques, alors même que la tendance est plutôt à la hausse. Cette approche, dans laquelle c'est le principe de précaution qui est mis en avant, rencontre une vive opposition des industries chimiques. Ils accusent cette démarche de stigmatiser les produits chimiques. Certains états américains, comme le New Jersey et l'Oregon ont mis en place des politiques de réduction des déchets toxiques. [23]

II.6. Recyclage et valorisation des déchets dans le domaine du génie

civil :

À la lumière de l'épuisement effrayant des ressources naturelles de la planète, le besoin est apparu de nombreuses techniques qui réduisent l'utilisation de ces ressources ou sont réutilisées ou recyclées en d'autres matériaux pouvant être utilisés dans le même domaine d'où ils ont été extraits ou dans un autre domaine.

Il a été démontré que les résultats obtenus par le processus de recyclage des déchets ne se limitent pas à réduire sa taille et à maîtriser le problème, mais plutôt à le dépasser pour obtenir des avantages économiques et des opportunités précieuses pour l'économie, comme contribuer à la création d'emplois dans le domaine du travail (Livre des résumés, 2019).[26]

La valorisation des déchets de génie civil est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des normes de qualité très strictes. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact et l'impact économique. Même dans de nombreux pays du monde, différents déchets sont utilisés dans le domaine de la construction, en particulier dans le ciment ou le béton comme la poudre, la fibre ou les granulats.

Si nous savons que les déchets de construction et de démolition à la fin de la vie utile des bâtiments et des installations représentent 10 à 30% de la quantité de déchets destinés aux décharges sanitaires, l'impact environnemental de ces déchets sera clair et il a été constaté que 65% de ces déchets sont des déchets de béton et d'agrégats. Grossier (grain). Il est à noter que le sujet revêt une importance exceptionnelle pour les pays qui souffrent de guerres et de crises qui produisent des tonnes de déchets de construction et de démolition à la suite de bombardements avec diverses armes et à travers des études que 80 à 90% des déchets de démolition, y

compris les déchets de béton, peuvent être recyclés. Le béton, fabriqué à partir d'agrégats recyclés, a généralement de bonnes propriétés de traitement, de durabilité et d'antigel. La résistance à la compression varie en fonction de la résistance du béton initial et du rapport eau / liant béton neuf. Le mortier de sable provenant des déchets de briques a généralement une bonne résistance au gel, à la décongélation, au séchage et aux eaux usées.

D'autre part, on retrouve les déchets plastiques, c'est-à-dire le reste des processus de production, de transformation et de consommation, ainsi que les produits plastiques, notamment les pneumatiques destinés à l'abandon utilisés dans les travaux routiers et le génie civil.

Les déchets plastiques peuvent être incorporés dans des matrices de ciment. En fait, des études ont montré qu'il est possible d'utiliser les déchets plastiques dans le béton comme liant pour produire un matériau ainsi que de les utiliser sous forme de fibres pour résister à la résistance à la traction. Les bouteilles peuvent également être utilisées dans la construction de maisons et utilisées comme briques pour la construction.

Il est clair que cette approche est de développer et de soutenir l'utilisation de ces déchets industriels dans divers ouvrages de génie civil qui, d'une part, contribueront à la préservation de l'environnement, et d'autre part, réduiront les coûts induits par l'utilisation de matériaux de plus en plus rares, notamment dans certaines régions du pays.[25]

II.6.1. Recyclage des plastiques :

Nous devons envisager le recyclage du plastique dans tout programme de gestion des déchets plastiques. En plus de réduire les quantités de déchets plastiques dans les décharges, il peut également contribuer de manière significative à la préservation des matières premières pétrochimiques et aux économies d'énergie, ce qui indique qu'il existe certaines limites technologiques et économiques qui limitent actuellement le recyclage complet et efficace des déchets plastiques en produits utiles.[25]

❖ Etapes du recyclage des déchets plastiques

Nous allons examiner ces étapes chacune son tour.

A. Le broyage, lavage et séchage :

Après la collecte et tri des déchets plastiques, ils sont broyés qui sont transformés enpaillettes, puis ils sont lavés à chaud.

Les paillettes propres doivent être complètement séchées. (Toute humidité résiduelle peut affecter la qualité du produit fini).[25]

B. La fonte et le filtrage :

Les paillettes séchées sont passés dans une extrudeuse où la chaleur et la pression font fondre le plastique. (Chaque type de plastique a un point de fusion particulier). Le plastique fondu subit un filtrage serré, (Cette étape permet d'enlever tout contaminant qui aurait résisté au cycle de lavage).

C. La granulation :

Les pailles sont refroidies puis coupées en granules. (Celles-ci sont entreposées pour lavent et l'expédition. Les granules obtenues serviront de matière première pour de nouveaux produits, ils sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi).[25]

II.6.2 Utilisation des déchets plastiques recyclés :

Les applications et l'utilisation des plastiques sont étendues. Certains articles en plastique tels que les emballages alimentaires deviennent des déchets juste après leurs achats. D'autres articles en plastique peuvent être réutilisés plusieurs fois. La réutilisation des plastiques est préférable au recyclage car elle consomme des quantités moindres d'énergie et des ressources en peuvent avoir plusieurs avantages :

- ✓ Réduction de la consommation énergétique.
- ✓ Réduction des déchets solides mis en décharges.
- ✓ Réduction des émissions du dioxyde de carbone (CO_2), l'oxyde d'azote (NO) et du dioxyde de soufre (SO_2).[25]

II.7. Conclusion :

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 .

CHAPITRE III : Partie expérimentale

Caractéristiques des matériaux utilisés et composition du béton

III.1. Introduction :

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de la recherche. Tous les essais sur les bétons, ainsi que les méthodes de contrôle ont été effectués suivant les normes Européennes et Algériennes en vigueur.

L'objectif de notre travail est de faire une étude comparative sur des bétons à base des copeaux telles que : les copeaux plastiques, et les pourcentages varies de 0.1% ,0.4% et 0.5%.

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

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 d'OUED MAITER de Boussaâda « M'Sila »
- ✓ Deux fractions de gravier concassé (3/8,8/16) l'origine calcaire COSSIDER à (ELECHE) BBA.
- ✓ Ciment CPJ 42.5 N et provenant de la cimenterie Lafarge de Hammam Dalaa « M'Sila »
- ✓ Copeaux plastiques
- ✓ L'adjuvant : MEDAPLAST SP 40 super plastifiant haut réducteur d'eau 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 granulat suivant leur dimension permet de déterminer sa continuité.



Fig III.1. Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique

❖ Mode opératoire :

- Prélever une masse de 2 Kg de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide, soit mi la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimer en mm) [5-3.15-2.5-1.25-0.63-0,315-0,16-0,08-fond].
- Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5minutes.
- 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 a 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 ma même opération avec le tamis immédiatement inférieur.

-Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R_1 , soit R_2 la masse de refus m de tamis 2 ($R_2 = R_1 +$ refus partiel sur tamis 2)

-Pour suivre la même opération avec la rente 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

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/cm³, kg/m³, T/m³)

❖ Mode opératoire :

- Remplir l'éprouvette échantillon graduée avec un volume d'eau $V_1 = 300$ ml
- Peser un échantillon sec $M = 300$ 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

Désignation	V_2 (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	Moyenne
Essai 1	428	2.34	2.393
Essai 2	429	2.32	
Essai 2	419	2.52	

III.2.1.2.2 La masse volumique apparente :

1-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

Désignation	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	Moyenne
Essai 1	104.3	1427.4	1.47	1.48
Essai 2	104.3	1445.2	1.49	
Essai 3	104.3	1439.5	1.48	

2-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)	ρ _{app} (g/cm ³)	Moyenne
Essai 1	104.3	1570.4	1.63	1.62
Essai 2	104.3	1561.7	1.62	
Essai 3	104.3	1566.8	1.62	

III.2.1.2.3 Porosité et compacité et indice des vides : -

- La porosité par la formule :

$$P = \left(\frac{1 - \rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) \cdot 100(\%) \quad (III.3)$$

- La compacité par la formule :

$$C = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 1 - P \quad (III.4)$$

- L'indice des vides par la formule :

$$E = \frac{P}{C} \text{ (III.5)}$$

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 taper 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 à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à 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

1- Equivalent de sable visuel : (E.S.V)

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au le fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.
- Mesurer également avec le régllet la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.
- On a :

$$E. S. V = \left(\frac{h_2}{h_1} \right) \cdot 100(\%) \quad (III.6)$$

- h_1 : la hauteur du sable + flocculat,
- h_2 : la hauteur du sable

2-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 intérieure de la tête du piston, soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à 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 ($h'_2 < h_1$)

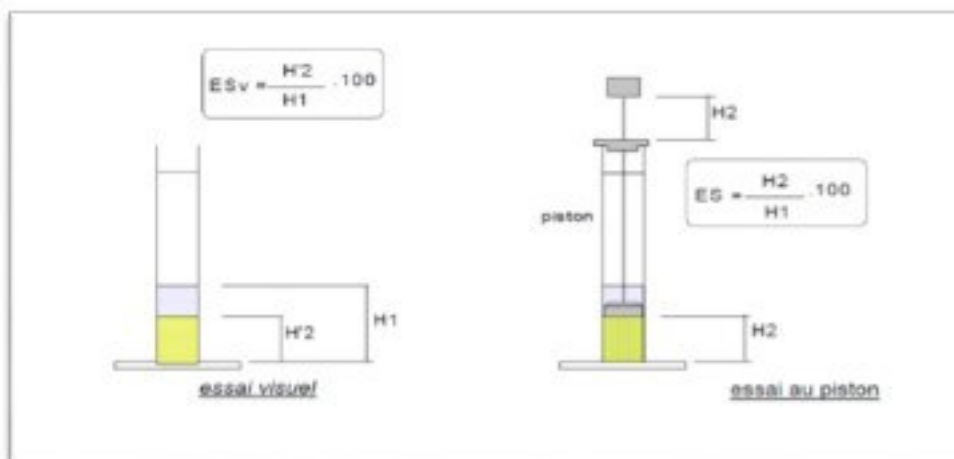


Fig. III.2. Essai d'équivalent de sable

Tableau III.6 : Equivalent de sable

Désignation	h_1 (cm)	h_2 (cm)	E.S.V(%)	h'_2 (cm)	E.S.P(%)
Essai 1	13	10.5	80.76	9.5	73
Essai 2	12.5	10.5	84	9.5	76
Essai 3	12	9.5	79.16	9	78

$$(E.S.V)_{moy} = 81.3 \%$$

$$(E.S.P)_{moy} = 74.66 \%$$

C'est un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses.

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 M_s son poids

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

D'où : M_s : poids du sable sec en (g) ;
 M_h : poids du sable humide en (g)

Tableau III.8 : La teneur en eau du sable

Désignaton	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 définit par la formule suivante :

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

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 utilisés sont le 3/8 et le 8/16

-Fraction 3/8

- MG3/8 =2 kg

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

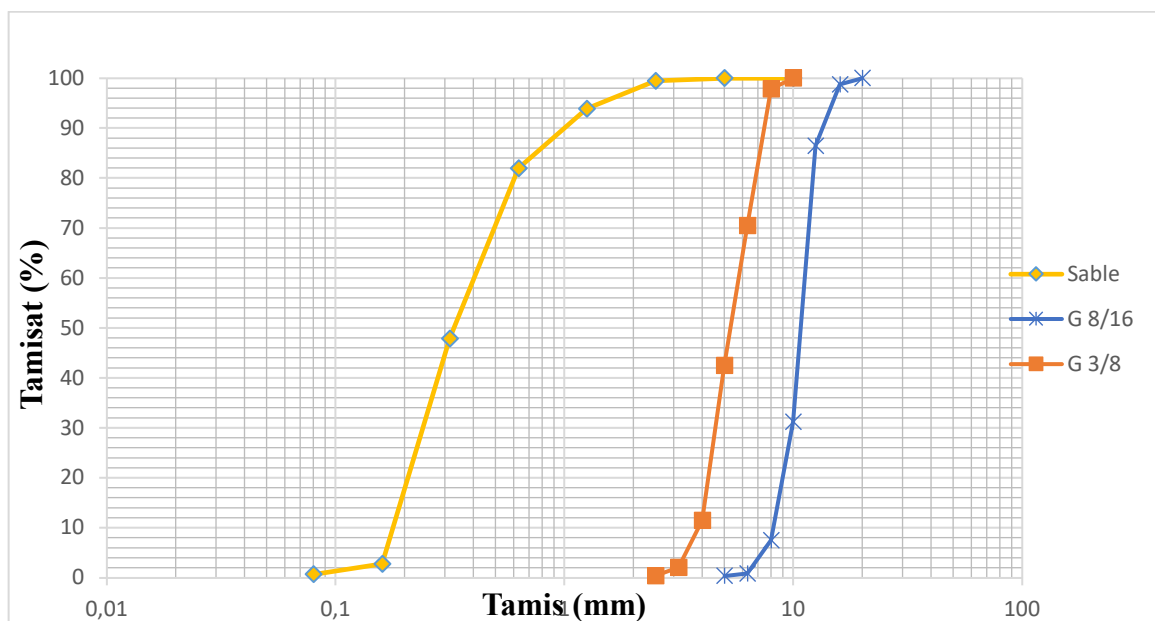
Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
8	93	93	4.65	95.35
6.3	719.66	812.66	40.63	59.37
5	477.33	1289.99	64.49	35.51
3.15	588	1877.99	93.89	6.11
Fond	123.3	1998.01	99.90	0.1

-Fraction 8/16

- MG3/8 =2 kg

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

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	82.33	82.33	4.12	95.88
12.5	379.66	461.99	23.09	76.91
10	473.33	935.32	46.76	53.24
8	560	1495.32	74.76	25.24
Fond	511	1998.66	99.93	0.07



III.3. Courbes granulométriques des granulats

Fig 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 granulats 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(l)	M1(kg)	M2(kg)	$\rho_{app}(kg/l)$	Moyenne
Essai 1	3/8	7.0	2.925	12.409	1.35	1.36
Essai 2			2.925	12.419	1.36	
Essai 3			2.925	12.519	1.37	
Essai 1	8/16	10.0	3.488	17.343	1.38	1.38
Essai 2			3.488	17.326	1.38	
Essai 3			3.488	17.295	1.38	

III.2.2.2.2 La masse volumique apparente absolue :

-Même mode opératoire que le sable. :

-Remplir l'éprouvette échantillon graduée avec un volume d'eau $V_1= 400$ ml

-Peser un échantillon sec $M= 400$ g de granulats

- La masse volumique absolue

$$\rho_{\text{abs}} = \frac{M}{V_2 - V_1} \quad (\text{III.11})$$

Tableau III.13 : La masse volumique absolue du gravier

Désignation	Gravier	V_2 (cm ³)	ρ_{abs} (g/cm ³)	Moyenne
Essai 1	3/8	547	2.72	2.68
Essai 2		550	2.66	
Essai 3		550	2.66	
Essai 1	8/16	550	2.66	2.66
Essai 2		549	2.68	
Essai 3		550	2.66	

III.2.2.2.3 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.



Fig III.4. 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 :

$$LA = \left(\frac{m}{M}\right) \cdot 100 (\%) \quad (\text{III.16})$$

Tableau III.14 : Caractéristiques mécaniques du gravier

Gravier	Masse initiale M (kg)	Masse m (kg)	Coefficient Los Angeles (%)
3/8	5.0	1.016	20.32
8/16	5.0	1.026	20.52

Tableau III.15 : 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 LA du gravier utilisé est compris entre 20 et 25, donc c'est un gravier dure.

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.



Fig III.5. 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. 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.2.5. Le filler (marbre) :

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

Tableau III.16 : Caractéristiques physiques du marbre

Propriétés Physiques	Fine Marbre
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.83
Densité	2.67
Surface spécifique de blaine (cm ² /g)	448

Tableau III.17. 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	42.56

III.2.6. L'eau de gâchage :

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

Tableau III.18. 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
Sulfate SO ₄	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Eligibilité d'oxydation en eau	1024

III.2.7. Les copeaux plastiques :



Fig III.6. Les copeaux plastiques.

Des bouteilles plastiques coupées ou bien déchets industriels.

Dimensions des copeaux : de longueur variée entre 2.5 à 5cm

La densité des copeaux : 0.9285

**CHAPITRE IV : TECHNIQUES EXPERIMENTALES DES
BETON AUTOPLAÇANT**

IV.1. Introduction :

La partie expérimentale est une continuité de la partie théorique pour équilibrer le plan de travail et définir les différentes techniques expérimentales. Dans cette partie nous avons indiquée d'une façon principale la formulation utilisée pour le calcul de dosage d'un BAP, ainsi que la mise en œuvre et essais essentiels soit à l'état frais ou durci pour caractérisée ce type de béton qui on a choisir. Ces essais on les a effectuées dans un laboratoire équipé au niveau de l'université de M'sila.

IV.2. Formulation du béton autoplaçant :

IV.2.1. 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.

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 :

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

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.

IV.2.1. Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage pour un béton ordinaire ou pour un BAP, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h.

Une fois démoulées, et pour assurer un bon mûrissement du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau à une température de 20°C, ceci permet d'éviter les pertes d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment.

IV.2.2. 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.

Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans 1m³ de béton en ayant comme données les paramètres suivants :

Comme données les paramètres suivants :

- ◆ Un rapport G/S = 1.
- ◆ Un rapport E/C = 0.5.
- ◆ Un dosage en ciment plutôt élevé C = 420 kg /m³
- ◆ Un pourcentage déterminé en ajouts (superplastifiant, les fillers, ou encore les deux).
- ◆ Le filler F=10%*C, et le superplastifiant SP40=2%*C

IV.2.2.1. 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/m³ 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 : $42 / 2.67 = 15.73 \text{ l/m}^3$

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

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 pâte pour 1m³ de béton est :

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

Le volume des granulats pour 1m³ de béton est :

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

Avec $G/S = 1$

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

Gravier (3/8) : 50% = 157.94 l/m³

Gravier (8/16) : 50% = 157.94 l/m³ et pour le

Sable : S = 315.89 l/m³

En terme de poids on a :

Gravier (3/8) = 157.94 * 2.67 = 421.19 kg/m³

Gravier (8/16) = 157.94 * 2.68 = 423.64 kg/m³

Sable = 315.89 * 2.627 = 827.64 kg/m³

LES COPEUX PLASTIQUES :

Des bouteilles plastiques coupées ou bien déchets industriels.

Dimensions des copeaux : de longueur variée entre 2.5 à 5cm

La densité des copeaux : 0.9285

Le dosage : 0.1%, 0.4% et 0.5% de volume de béton

IV.2.2.2. Les compositions des différents bétons :

BAPT : Béton autoplaçant témoin ;

BAPF1 : Béton autoplaçant avec 0.1 % de copeaux plastiques ;

BAPF2 : Béton autoplaçant avec 0.4% de copeaux plastiques ;

BAPF3 : Béton autoplaçant avec 0.5% de copeaux plastiques ;

IV.3. 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 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.3.1. 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.

❖ Matériel utilisé :

- Une plaque carrée d'au moins 90 centimètres de côté ;
- Un cône d'Abram's ;
- Une règle de 90 centimètres.

❖ Mode opératoire :

- Placer la plaque sur un support stable et horizontal (Fig IV.1) ;
- Humidifier la surface de la plaque, et éliminer l'eau en excès avec un chiffon ;
- Placer le cône d'Abram's au centre de la plaque, et le faire remplir avec le béton en versant de manière continue, jusqu'à la face supérieure du cône ;
- Araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide ;
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées ;
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires ;
- Noter le résultat des deux valeurs. Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, l'essai doit être invalidé et reconduit ;
- Le résultat final est la moyenne des deux valeurs obtenues. Soit :

$$\text{Slump Flow} = (D_1 + D_2) / 2$$

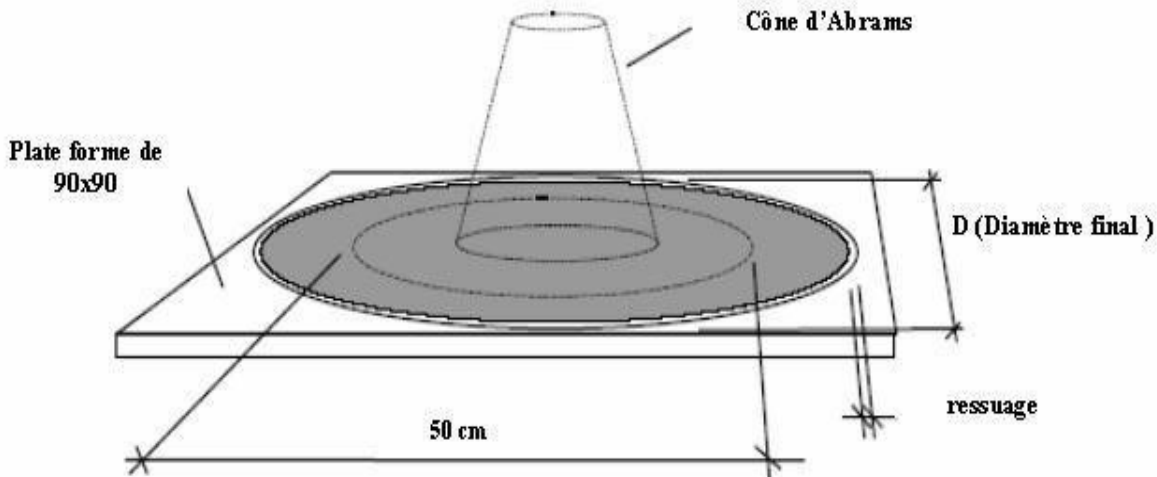


Fig. IV.1. Représentation schématique de l'essai d'étalement.

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

IV.3.2. Détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte L :

Cet essai permet de tester la mobilité du mélange frais en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables tel que la présence d'armatures par exemple. (Fig.IV.2)

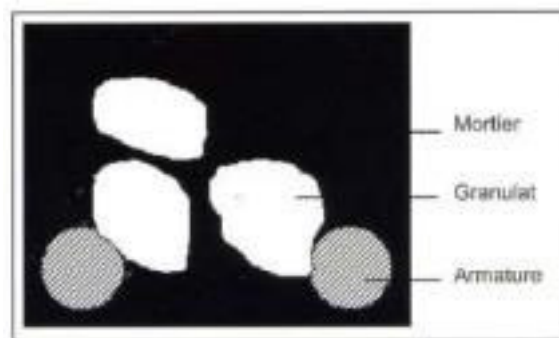


Fig. IV.2. Blocage des granulats par la présence d'armatures

Son principe est le suivant :

- La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton ; (Fig.IV.3)

- Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute, 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 .

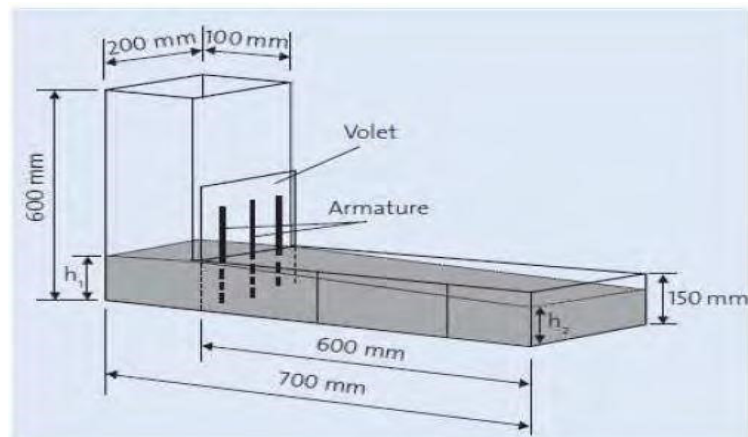


Figure IV.3.Dimensions de la boîte en L (L-box).

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

IV.3.3. Détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis :

❖ 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).

❖ Mode opératoire :

- 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 ;
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation, et attendre 15 minutes ;
- Peser le fond et le tamis à vide ;

- Après 15 minutes, verser sur le tamis un poids de béton égal à 4.8 kg ;
- Noter le poids réel de l'échantillon ; -Attendre 2 minutes puis faire la tare ; -Peser le fond avec la laitance.

On calcule :

$$\Pi = \left(\frac{P_{\text{laitance}}}{P_{\text{échantillon}}} \right) \cdot 100 \quad (\text{III.17})$$

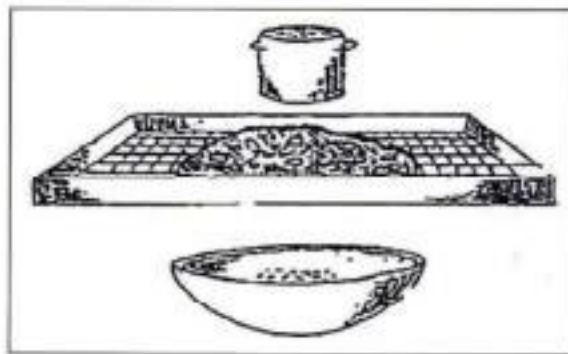


Fig. IV.4. Essai de la stabilité au tamis

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

IV.4.1. 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.

❖ 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 $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$.

❖ 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 une 48 heure.
- L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à une température moyenne de 20 C° .

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

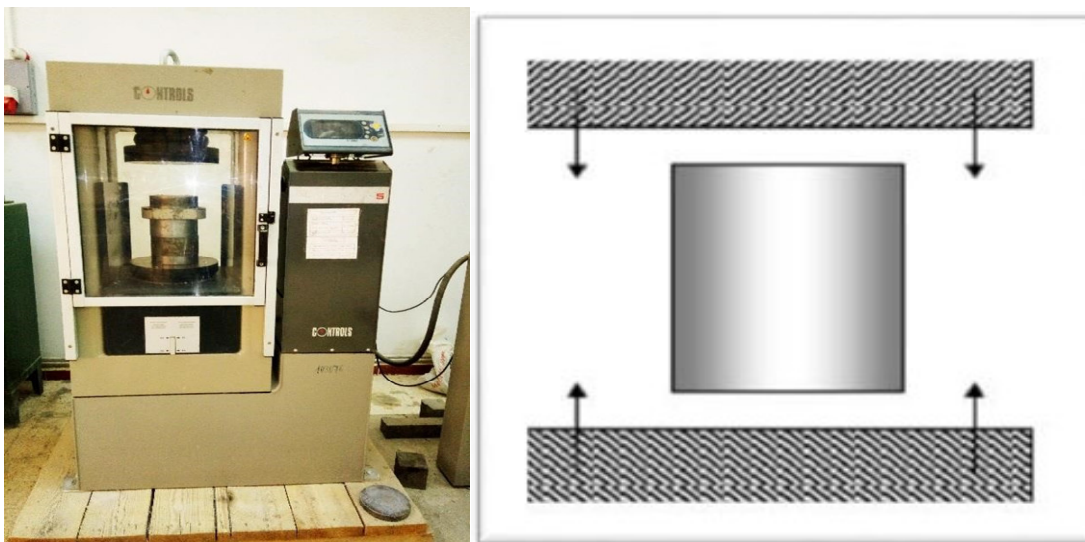


Fig. IV.5. L'appareil de l'essai de compression

❖ 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 : $G = F/S$

Avec :

S : section de l'éprouvette : 100 cm^2 F : force au moment de la rupture.

IV.4.2. Essai de traction par flexion :

❖ 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 $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$ de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse.



Fig. IV.6. L'appareil de l'essai de traction par flexion

❖ 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_{ff} (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 ($\sigma_t = 0,6\sigma_{ff}$)

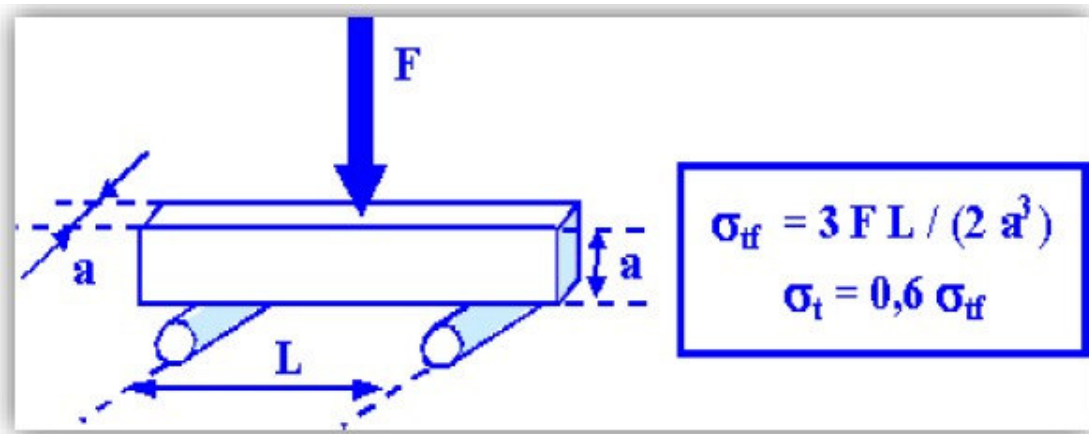


Fig. IV.7. Formule de calcul de la résistance de traction

IV.5. 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 ultrason.

IV.5.1. 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.



Fig. IV.9. Marteau de Schmidt ou Scléromètre

❖ 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 (III.16).

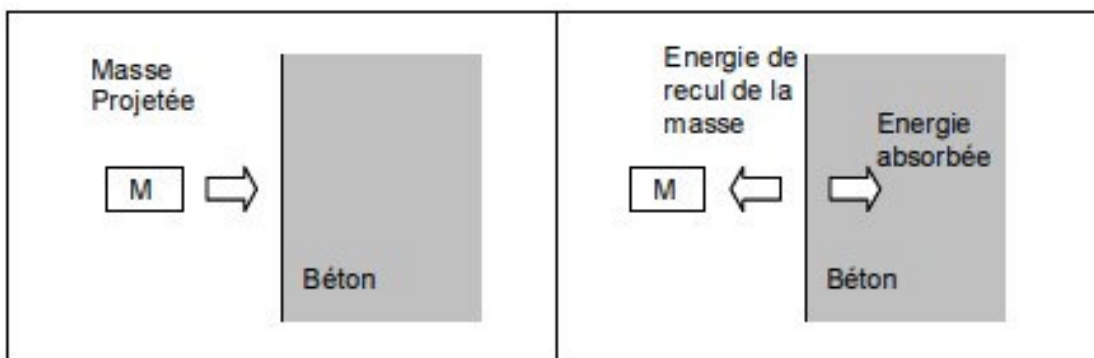


Fig. IV.10. Principe de fonctionnement d'un scléromètre

❖ Avantages :

- C'est une méthode peu coûteuse, simple et rapide. Feldman (1977).
- L'essai au scléromètre est comparatif, il est utile pour évaluer l'homogénéité du béton dans une structure ou lors de la fabrication d'éléments semblables des éléments préfabriqués. (Neville 2000)

- L'essai peut aussi être utilisé pour vérifier si la valeur de l'indice de rebondissement a atteint la valeur désirée correspondant à la résistance du béton, ce qui peut aider à décider du moment où l'on peut mettre la structure en service.

- Une utilisation de cet essai est de pouvoir vérifier si le développement de la résistance d'un béton a été affecté par le gel au jeune âge. (Selon la norme ASTM C 805-85 un béton encore gelé peut donner un indice de rebondissement très élevé).

- Une application particulière de l'essai au scléromètre consiste à évaluer la résistance à l'abrasion des planchers de béton, qui dépend largement de la dureté de surface.[27]

❖ Inconvénients :

- Une précision entre ± 15 et $\pm 20\%$ n'est possible qu'avec des éprouvettes qui ont été coulées et soumises à un traitement de cure et à des essais dans les conditions pour lesquelles les courbes d'étalonnage ont été établies. (Feldman 1977).

- Les résultats sont influencés par des facteurs tels que l'égalité de la surface, la grosseur et la forme de l'éprouvette, le degré d'humidité du béton, le type de ciment et de gros granulats W.E. Grieb (1958) et le degré de carbonatation de la surface.

- La résistance obtenue n'est que celle de la peau de béton, elle ne renseigne pas sur le béton à l'intérieur de la masse de l'ouvrage. Selon la norme BS 1881 : partie 202 : 1986, l'épaisseur concernée par cet essai est d'environ 30mm. Les changements qui n'affectent que la surface du béton, comme le degré de saturation en surface (qui abaisse l'indice de rebondissement) C.H. Willetts (1958) ou la carbonatation (qui augmente cet indice) S. Amasaki (1991) ont peu d'influence sur les propriétés du béton en profondeur.

- On ne peut juger définitivement qu'une partie d'ouvrage à partir des indications du scléromètre.

- Bien que l'essai au scléromètre soit utile, il ne constitue en aucune façon une mesure de la résistance et l'on ne devrait pas accepter la revendication exagérée de son emploi en remplacement des résultats de l'essai de compression.[27]

IV.5.2. Essai d'auscultation dynamique :

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

❖ 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 (III.17)

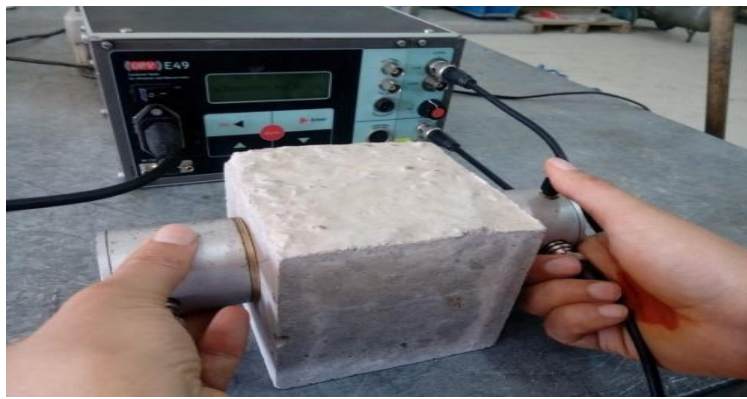


Fig. IV.11 :Appareil d'auscultation sonique.

❖ Avantages :

- C'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton.
- L'essai peut être utilisé autant sur les ouvrages complétés que sur ceux en construction.
- La mesure des ondes sonores présente l'énorme avantage de donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton. Selon Chung et Law (1983) l'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour détecter la fissuration

(Mais les fissures parallèles au déplacement de l'onde), les vides, les détériorations dues au gel ou de feu et l'uniformité du béton dans des éléments semblables. L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel/dégel.

- Elvery et Ibrahim (1976) et pendant leurs études sur la relation de la vitesse et la résistance dans plusieurs âges ont montrés que l'essai peut aussi être utilisé pour évaluer la résistance du béton à très jeune âge, à partir de trois heures et plus, ce qui peut être intéressant dans le domaine de la préfabrication du béton ou comme outil de décision pour déterminer le moment adéquat des opérations de décoffrage.[27]

❖ Inconvénients :

- Ces essais ne sont toutefois pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variables influençant la relation entre la résistance et la vitesse de propagation des impulsions.
- La précision des résultats est fonction de la précision de l'étalonnage et de l'uniformité de la composition du béton de l'ouvrage et du béton des éprouvettes utilisées pour l'étalonnage.
- Dans l'essai de propagation des ultrasons la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance effective du béton.
- L'utilisation de cette méthode, si elle a bénéficié de grandes simplifications n'est donc justifiée que pour les personnes compétentes en matière d'appareillage et de connaissance du matériau de béton et aussi au courant des précautions à prendre. [27]

IV.6. Conclusion :

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché algérien (le ciment, les granulats, les superplastifiants).

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons autoplaçants, Pour déterminer leurs caractéristiques rhéologiques (essais d'étalement (Slump flow), essai de la boîte L, stabilité au tamis). Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction, Essai au scléromètre, Essai d'auscultation dynamique). Pour reconnaître l'effet des copeaux plastiques sur le béton autoplaçant que ce soit à l'état frais ou durci.

CHAPITRE V : Résultats et Discussions

V.1. Introduction :

Pour les bétons autoplaçants, il est nécessaire d'assurer une bonne fluidité et une bonne résistance à la ségrégation.

➤ **Les formulations des bétons réalisés sont les suivantes :**

BAP T → Béton auto plaçant témoin.

BAPCP1 → Béton auto plaçant avec l'ajout de 0.1% copeaux plastiques.

BAPCP2 → Béton auto plaçant avec l'ajout de 0.4% copeaux plastiques.

BAPCP3 → Béton auto plaçant avec l'ajout de 0.5% copeaux plastiques

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

Pour obtenir un béton autoplaçant renforcé de copeaux, on a procédé d'incorporer les copeaux plastiques, tout en assurant la fluidité, la capacité de passage, de remplissage et la résistance à la ségrégation recommandée.

Le tableau V.1 résume les différents résultats de différents mélanges à l'état frais

Tableau V.1 : Résultats d'essais sur les bétons frais

Type de béton	L'étalement (mm)	Stabilité au tamis (%)	La boîte en L (H ₂ /H ₁)	Masse volumique (kg/m ³)
BAPT	650	12.14	0.84	2276
BAPCP1	645	11.94	0.82	2309
BAPCP2	642.5	11.79	0.82	2302
BAPCP3	625	11.4	0.81	2317

-Essai d'étalement au cône d'Abram's :

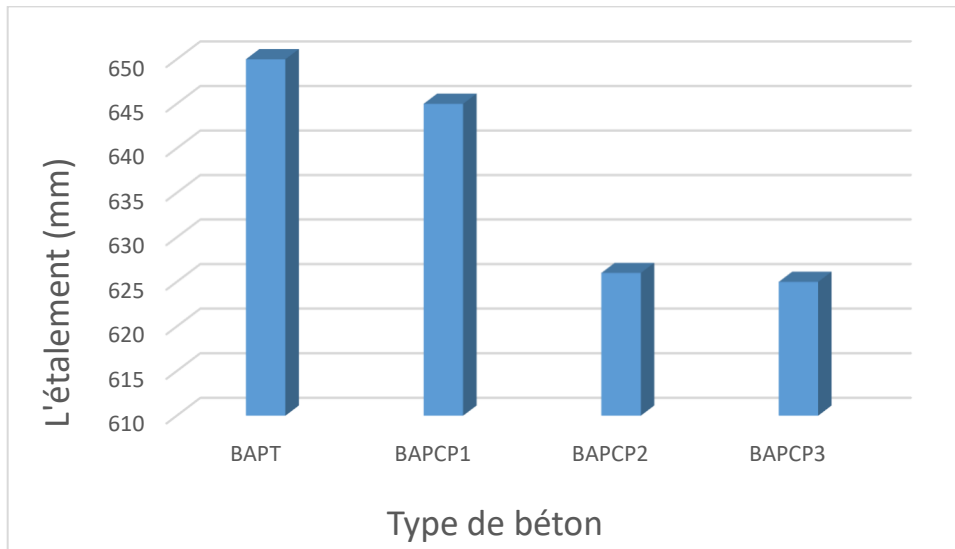


Fig V.1. L'étalement en fonction de type de béton

-Essai de stabilité au tamis :

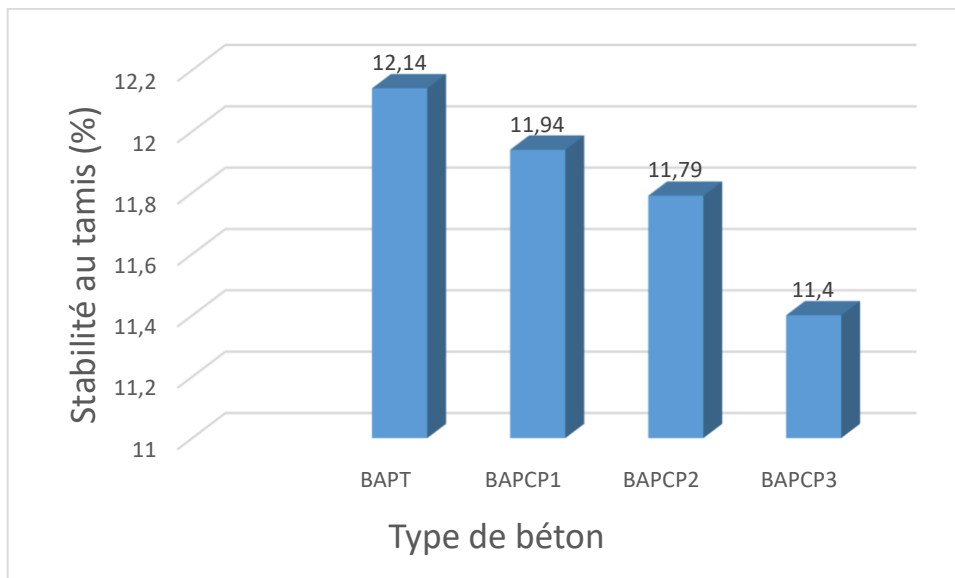


Fig V.2. L'indice de ségrégation en fonction de type de béton

-Essai de la boîte en L :

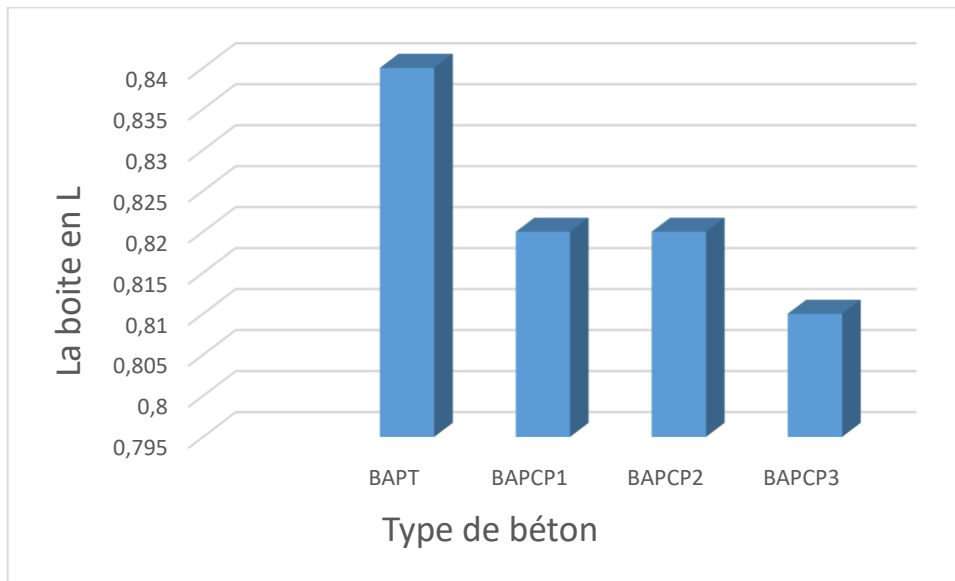


Fig V.3. Le taux de remplissage en fonction de type de béton

-La masse volumique :

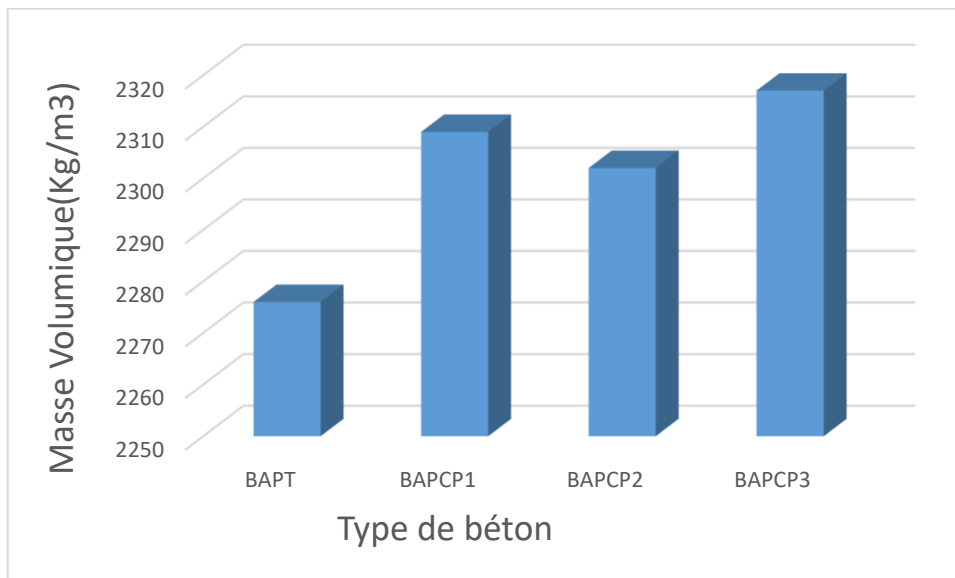


Fig V.4. La masse volumique en fonction de type de bétons

Les résultats des essais des différents BAP à l'état frais en l'occurrence l'essai d'étalement, 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 est celles du BAP Témoin, et ses valeurs diminuent avec l'ajout des copeaux plastiques. Contrairement à la masse volumique qui augmente légèrement avec l'ajout des copeaux plastiques.

V.3. Résultats des essais à l'état durci :

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

Toutes les éprouvettes ont été conservées dans l'eau à une température ambiante de 20°C (EN 12390-2).

Les résultats de compression et traction par flexion sont résumés dans ce tableau pour le BAPT et BAPCP1 et BAPCP2 et BAPCP3

V. 3.1- Les essais destructifs (ED) :

- La résistance à la compression :

Tableau V.2. Résistance à la compression

Composition	Eprouvettes	La Compression suivant l'âge du béton		
		7 jours (MPa)	14 jours (MPa)	28 jours (MPa)
BAPT	1	19.25	27.65	24.50
	2	21.05	26.63	29.35
	3	22.11	25.62	28.84
	Moy	20.80	26.63	27.56
BAPCP1	1	21.82	24.60	25.12
	2	18.14	23.76	21.91
	3	20.32	24.04	24.48
	Moy	20.09	24.13	23.88
BAPCP2	1	20.92	25.26	26.93
	2	20.80	26.74	25.96
	3	21.41	22.83	28.05
	Moy	20.04	24.94	26.98
BAPCP3	1	21.44	22.34	28.98
	2	21.28	25.97	24.40
	3	20.55	24.85	22.38
	Moy	21.09	24.39	25.25

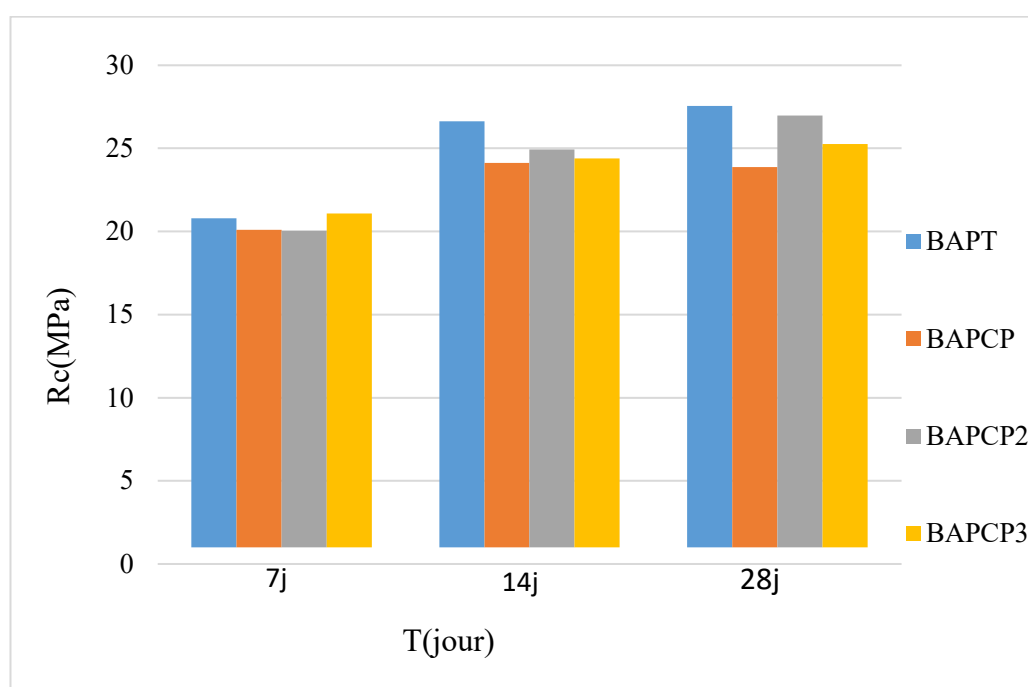


Fig V.5. La résistance à la compression en fonction de l'âge des bétons

La résistance à la compression augmente avec l'âge du béton. Cependant, le béton BAPT reste avec la plus grande résistance à la compression par rapport aux autres bétons pour tous les pourcentages d'ajout, l'effet des copeaux n'est pas visible. La résistance diminue pour les BAPCP de 0.1% de dosage par rapport au BAPT, mais augmente lorsque le dosage des copeaux plastiques est de 0.4% et 0.5%, et la meilleure résistance est donnée par le BAPCP au 0.4% ; qui atteint presque la résistance de BAPT. Donc, bien que nous n'ayons pas obtenu un résultat satisfaisant, en terme de résistance les déchets plastiques peuvent être jetés à l'intérieur du BAP sans affecter ses propriétés à l'état frais ou durci.

- La résistance à la traction par flexion :

Tableau V.3 : Résistance à la traction par flexion

Composition	Eprouvettes	La Compression suivant l'âge du béton		
		7 jours (KN)	14 jours (KN)	28 jours (KN)
BAPT	1	4	4	5.2
	2	4.2	4.8	5.2
	3	3.2	4.8	5
	Moy	3.8	4.53	5.13
BAPCP1	1	3.6	3.6	3.6
	2	3.8	3.8	3.3
	3	3.2	3.9	3.6
	Moy	3.53	3.76	3.32
BAPCP2	1	3.8	4.2	5
	2	4.2	4	5.8
	3	4.4	4.8	5
	Moy	4.13	4.33	5.1
BAPCP3	1	4.2	4.8	5
	2	4.4	4.4	4.8
	3	4.2	4.2	5.2
	Moy	4.26	4.47	4.85

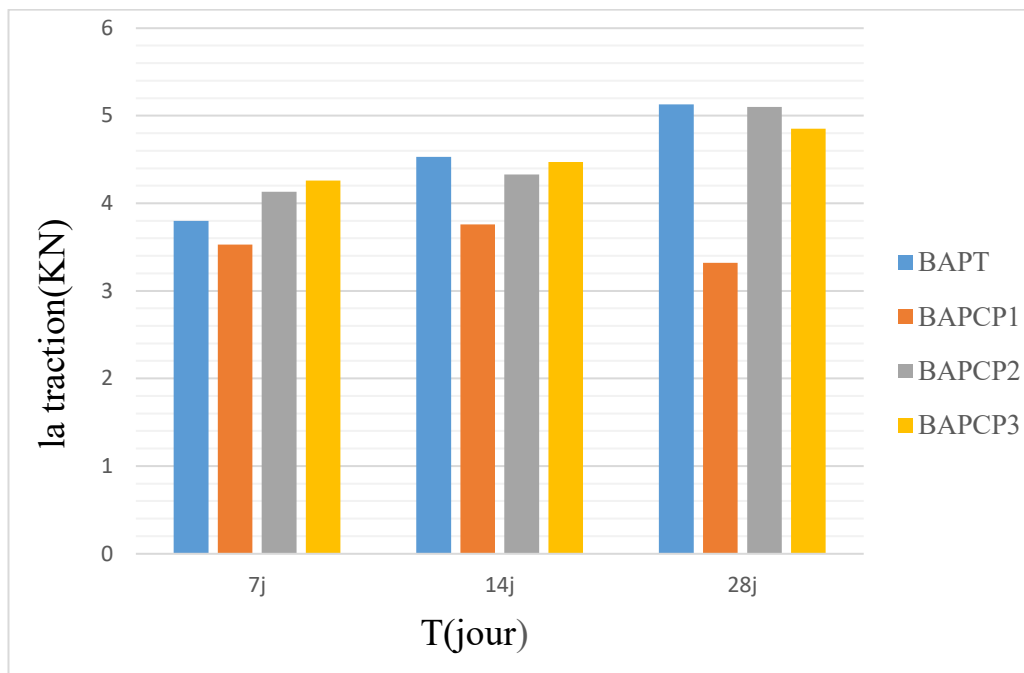


Fig V.6. La résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge des bétons

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 BAPCP l'idée qui se dégage de ce travail est que les copeaux plastiques n'augmentent pas d'une manière nette la résistance à la traction. Le BAPCP2 donne une bonne résistance.

Durant l'essai on a remarqué que les copeaux plastiques procurent au matériau un pallier de ductilité et permettent de mieux contrôler la fissuration.

V.3.2-Les essais non destructifs (END) :

- L'essai à l'ultrason :

Tableau V.4. : Les essais à l'ultrason

Composition		Eprouvettes	La vitesse du son suivant l'âge du béton		
			7 jours (m/s)	14 jours (m/s)	28 jours (m/s)
BAPT		1	6166	6674	6257
		2	6674	6787	6529
		3	6006	6674	6674
		Moy	6282	6711	6486
BAPCP1		1	6429	6067	6257
		2	6390	6257	6257
		3	6529	6459	6457
		Moy	6449	6261	6323
BAPCP2		1	3390	6160	6601
		2	6129	6459	6637
		3	6257	6067	6129
		Moy	5258	6228	6455
BAPCP3		1	6006	6160	6904
		2	6036	6036	6529
		3	6129	5831	6787
		Moy	6057	6009	6740

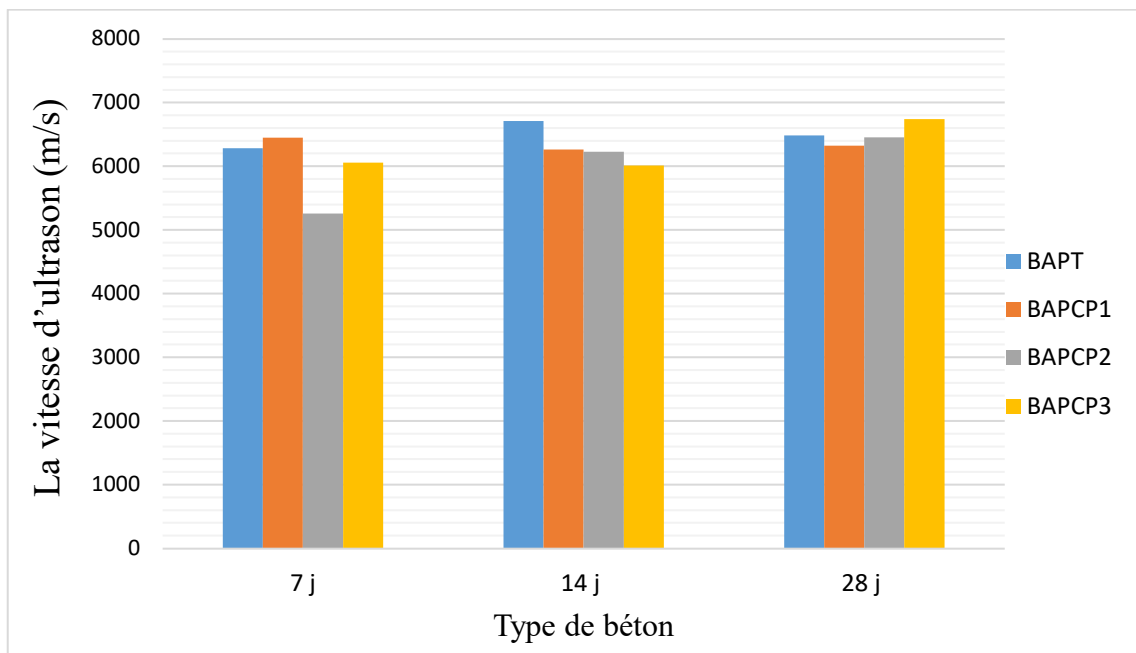


Fig V.7. La vitesse en fonction de l'âge des bétons

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

- L'essai au scléromètre :

Tableau V.5 : Les essais au scléromètre

Composition	Eprouvettes	La Compression suivant l'âge du béton		
		7 jours (MPa)	14 jours (MPa)	28 jours (MPa)
BAPT	1	18	20	19
	2	20	18	21
	3	20	22	18
	Moy	19.33	20	19.33
BAPCP1	1	20	19	20
	2	18	22	22
	3	22	18	22
	Moy	20	19.66	21.33
BAPCP2	1	20	20	19
	2	18	22	18
	3	18	18	19
	Moy	18.66	20	18.66
BAPCP3	1	18	20	20
	2	18	18	19
	3	20	18	21
	Moy	18.66	18.66	20

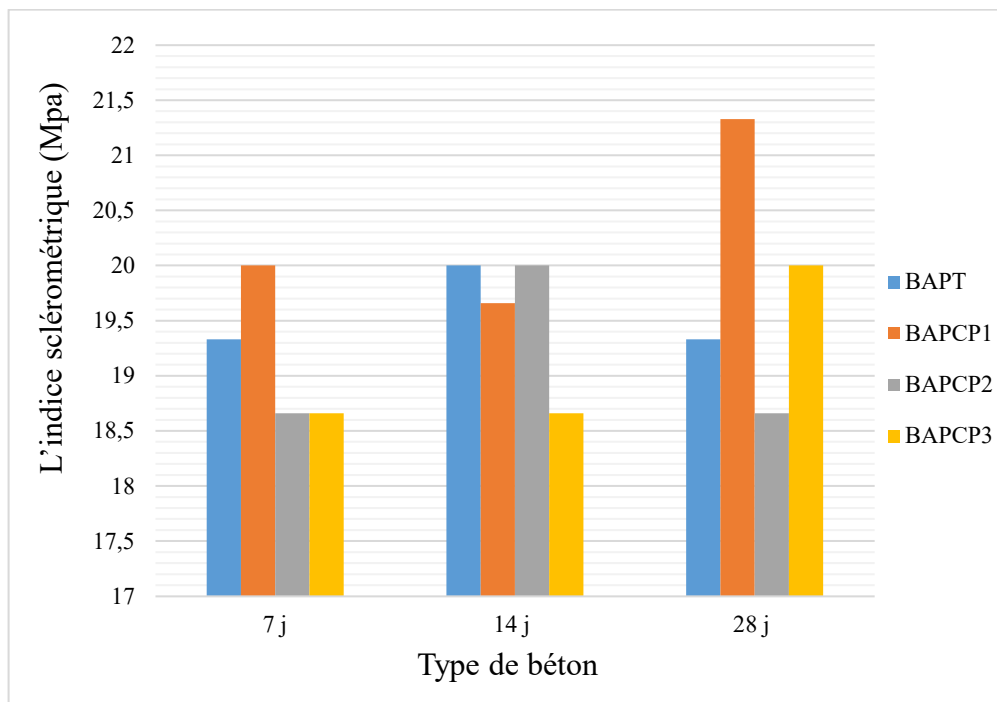


Fig V.8. L'indice sclérométrique en fonction de l'âge des bétons

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.4. Conclusion

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

Les résultats confirment l'avantage de l'ajout des copeaux plastiques surtout à l'état frais des BAP étudiés.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Dans ce travail, nous allons résumer toutes les conclusions qui ont été atteintes après interprétation des résultats obtenus à partir des tests effectués sur différents types de béton :

- Les résultats des essais des différents BAP à l'état frais en l'occurrence l'essai d'étalement, 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 est celles du BAP Témoin, et ses valeurs diminuent avec l'ajout des copeaux plastiques.
- La résistance diminue pour les BAPCP de 0.1% de dosage par rapport au BAPT, mais augmente lorsque le dosage des copeaux plastiques est de 0.4% et 0.5%, et la meilleure résistance est donnée par le BAPCP au 0.4% ; qui atteint presque la résistance de BAPT
- La résistance à la traction par flexion, augmente avec l'âge des BAP et la plus grande résistance est donnée par le BAPT.

Durant l'essai on a remarqué que les copeaux plastiques 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 plastiques 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.

Donc, bien que nous n'ayons pas obtenu un résultat satisfaisant, en terme de résistance les déchets plastiques peuvent être jetés à l'intérieur du BAP sans affecter ses propriétés à l'état frais ou durci.

Références Bibliographiques :

- [1] Nasri, S. (2016). Caractérisation aux moyens des essais non destructifs (NDT) et essai direct d'un béton auto plaçant (BAP) a base de matériaux locaux (effet de la nature du sable) (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila).
- [2] ISLAM, L., & NASSEREDDINE, B. (2020). *VALORISATION DES DECHETS DANS LE BETON AUTO-PLAÇANT: ETAT DE L'ART*.
- [3] Djeflal, H., & Younes chaouche, Y. (2017). Le recyclage des déchets plastiques dans le cadre du développement durable Cas des entreprises de recyclage de la Wilaya de Tizi-Ouzou (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [4] OKAMURA H, OUCHI M., “Self-compacting concrete. Development present use and future”, First International RILEM symposium on self-compacting concrete. Rilem Publication s.a.r.l, 3-14, 1999.
- [5] ASSOCIATION FRANCAISE DE GENIE CIVIL, “Recommandations pour emploi des Bétons auto-plaçants ”, 2008.
- [6] SEDRAN T, DE LARRARD F, “Manuel d'utilisation de RENE-LCPC, Logiciel d'optimisation granulaire ”, version 6.1d. LCPC, 2000.
- [7] DHONDE HB, YO MO, TCC HSU, VOGEL J, “Fresh and hardened properties of selfconsolidating fiber reinforced concrete”, ACI Mater J, 104:491– 500, 2007.
- [8] KHAYAT K H, “Workability, Testing, and Performance of SelfConsolidationg Concrete”, ACI Materials Journal, V. 96, No. 3, May-June 1999.
- [9] 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).
- [10] 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.

- [11] TRUDEL A, « Maniabilité, Uniformité et Comportement Structural du Béton Autonivelant à Haute Performance », Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées, Spécialité : Génie Civil. Université de Sherbrooke, CANADA, Avril, 1996.
- [12] SEDRAN, T. (1995). Les bétons autonivelants (BAN). Synthèse bibliographique. *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 196, 53-60.
- [13] Turcry, P., & Loukili, A. (2003). Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants: Influence sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques. *Revue française de génie civil*, 7(4), 425-450.
- [14] 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.
- [15] 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).
- [16] DJERAD, K., & CHOUYA, A. (2020). *Revue bibliographique sur la durabilité des bétons autoplaçants (BAP) fibrés* (Doctoral dissertation, Univ M'sila).
- [17] NF P 18-406 relative aux essais de compression des bétons.
- [18] KHEMISSI R., « Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran » thèse de Magister Université d'Oran, 2014.
- [19] Saadani, S., & Houari, H. (2014). *Comportement des bétons à base de granulats recyclés* (Doctoral dissertation, Université Mentouri Constantine).
- [20] Karim Ouamane, DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, 25 mai 2017.
- [21] Zeghichi, L. (2006). *Etude des bétons basiques à base des différents granulats* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
- [22] CHELABI, H., & TALEB, Z. (2017). *Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre* (Doctoral dissertation, université du bouira).
- [23] Sabrina, S., & Houari, H. (2008). *Comportement des bétons à base de granulats recyclés* (Doctoral dissertation, Université Mentouri Constantine).
- [24] ABDOUNE, A., & HADDAD, O. K. (2020). *Utilisation des déchets plastiques en matériaux composites de construction* (Doctoral dissertation, université Ahmed Draia-ADRAR).

- [25] *Livre des résumés. Université le roi saoud saoudien, 2019.*
- [26] Djebri, N. (2006). *L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DU BÉTON IN SITU* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).

Annexes :

❖ **Caractéristiques techniques de ciment :**

• 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

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 tab 1, tab 3.1 et tab 3.2 et NA 17052-2

Super Plastifiant -/Haut réducteur d'eau

Description

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

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, 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 :

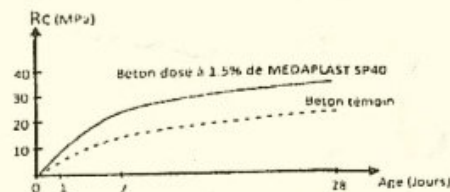
- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

DESIGNATION	Rc MPA	
Jours	7j	28j
Témoin	8,05	31,3
MEDAPLAST SP 40(1,5%)	13,85	38,13

Béton CEM II/A 42.5 = 350Kg/m³ ; E/C = 0.46
Gravier et sable concassés

Caractéristiques :

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



Evolution des résistances en compression

Mode D'emploi

Il est recommandé d'ajouter le MEDAPLAST SP 40 dans le béton après introduction de la totalité de l'eau de gâchage. Il est conseillé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage adéquat pour les résultats recherchés.

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 260 kg et en cubitainers de 1200 kg.

Durée de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution D'emplois

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 17 JUL 2016.

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



Zone industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tél : 213 021316681482

Fax : 213 0213164226021316523

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

