République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Universitaire Yahia FARES de Médéa
Faculté De Technologie
Département de Génie Civil

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil

Option: materieaux en genie civil

Thème :

INFLUENCE DE LA VASE D'UN BARRAGE SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU MORTIER AUTOPLACANT

Présenté par:

Ben slimi Sofian

Encadré par :

Melle : Boukelkal Djamila

Co –promoteur :

Mr:Guendouz Mohamed

Promotion Juin 2018

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces langues années d'étude.

Nous tenons à exprimer nos vifs Remerciements et notre profonde Gratitude à notre promoteur Melle BOUKELKAL DJAMILA pour leurs disponibilités, leurs aides durant tout le déroulement de ce projet. Grâce à leurs dévouements, conseils scientifiques et suivis, nous avons pu mener à terme notre travail.

A tous les enseignants de l'Université spécialement Melle souade benzianne, et surtout nos professeurs durant toutes les années, pour la connaissance qu'ils ont toujours sur nous transmettre et pour leur disponibilité dans la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier aussi tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont de bien vouloir assister à cette soutenance.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

On leur dit merci de tout notre cœur.

Merci

Dédicaces

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde après mon DIEU pour leurs sacrifices :

A Ma cher père que dieu le garde et préserve.

A Ma chère mère rabi yarhamha w nchllh tkon farhanna biya

A Mes sœur : fatima, hannane

A Mes frères : khaled,nour el dinne et abdel kader

A toute la famille ***« Ben selimi»*** *sans exception.*

Je remercie a tout mes amis

A Mes amies : mohamed, zola, 3arab,et sa famille …

A Tous mes collègues des m2 année génie civil et 2 ème année master structure et matériaux de construction.

SOMMAIRE

TITRES	PAGE
Remercîments……..	a
Dédicace……..	b
Sommaire……..	c-e
Liste des figures ……..	f
Liste des tableaux ……	g
liste d'abréviations……	h
résume en français……..	j
résume en français……	k
INTRODUCTION GENERALE……	l-m
CHAPITR 01 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE……..	01
I.1. Notion de déchets…….....	02
I.1.1.Introduction……..	02
I.1.2.Définition……..	02
I.1.3. Différents types de déchets……..	03
I.1.4. Recyclage des déchets ……	04
I.1.5. Conclusion ……..	06
I-2 Les Sédiments de dragage……..	06
I-2-1 Définition et l'origine des sédiments……..	06
1-2-2 Composition structurale des sédiments…….....	07
I-2-3. Les processus de transport et de sédimentation……..	08
I-2-4 Définition de la vase……..……..	09
I-2-5 Composition des vases…….....	10
I-2-6 Particularité des retenues en Algérie…….....	12
I-2.7 Etat de l'Art sur la valorisation des sédiments dans le domaine Génie Civil……..	15

I.3. Le béton autoplaçant…….. 16

I.3.1 Introduction…….. 16

I.3.2 Historique……. 16

I.3.3. Définition d'un béton autoplaçant……..... 18

I.3.4. Les composants d'un BAP…….. 19

I.3.5 Propriétés d'un BAP à l'état frais……. 26

I.3.6 Particularité de composition des BAP……..... 28

I.3.7 Propriétés mécaniques d'un BAP à l'état durci……..... 31

Conclusion……..... 39

CHAPITRE02 : MATERIAU ET ESSAIS……... 40

II.1. Introduction……... 41

II.2. Matériaux utilisés ……. 41

II.2.1. Ciment……... 41

II.2.2.Le sable……..... 44

II.2.3.L'eau de gâchage…… 45

II.2.4. Super plastifiant……. 45

II.2.5. Déchets……... 45

II.3. Equipement nécessaire …… 47

II.4.essais effectués sur les matériaux……... 47

II.5.Formulation du mortier ……. 50

II.6.Malaxage du mortier…….. 50

II.7.Préparation et Conservation des Eprouvettes……. 51

II.8.Essais effectués sur mortier…… 52

II.8.1. A l'état frais……... 52

II.8.2. A l'état durci…….. 54

CONCLUSION……. 56

CHAPITRE03 : résultats et interprétation……..

III.1. Introduction…… 58

III.2. Caractérisation des mortiers à l'état frais…… 58

III.2.1. Densité…….**.....** 60

III.2.2. Etat durci……... 61

CONCLUSION……. 66

CONCLUSION GENERALE…… 68

Liste des références …….. 70

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Figure I.1	: Le Transport Des Sédiments [F.AGOSTINI 2006]	**7**
Figure I.2	Cycle altération –transport – sédimentation (Philippe joye 2005)	**8**
Figure I.3	Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10 (Scetauroute, 1986) cite Par Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C	**10**
Figure I.4	Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires [N.PROULHAC, KER LANN 2006]	**11**
Figure I.5	Histogramme Capacité / Envasement par Région (ANBT)	**13**
Figure I.6	Correction torrentielle dans un cours d'eau (ANBT)	**14**
Figure I.7	Drague activant dans la retenue du barrage Foum-El-Gherza (Biskra)	**15**
Figure I.8	. barrage d'El Adrat à EL OUMRIA.	**16**
Figure I.9	Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP.	**20**
Figure I.10	Répulsion électrostatique entre deux particules de ciment **[**	**24**
Figure I.11	Particules de ciment recouvertes de polymères à fort encombrement stérique **[41].**	**24**
Figure I.12	Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) correspondant **[62].**	**32**
Figure I.13	Retrait plastique de BAP et de béton ordinaire [**72**].	**34**
Figure I.14	Amplitudes maximales des BAP et Bétons ordinaires **[74].**	**35**
Figure I.15	Retrait de séchage de deux BAP et du béton vibré correspondant **[63]**	**36**
Figure II.1	Le ciment utilisé	**44**
Figure II.2	Sable utilise	**44**
Figure II.3	L'eau de gâchage utilisé	**45**

Figure II.4

Figure II.5 vase récupéré **46**

Figure II.6 Poudre de vase recycle **46**

Figure II.7 Procédure de mesure de l'équivalent de sable **49**

Figure II.8 malaxage du mortier **51**

Figure II.9 Conservation des éprouvettes **51**

Figure II.10 Mesure de la densité du MAP à l'état frais **52**

Figure II.11 Essai d'étalement du mortier. **52**

Figure II.12 Essai d'entonnoir en V (V-funnel) pour mortier. **54**

Figure II.13 Dispositif de rupture à la compression. **55**

Figure II.14 Rétractomètre et son étalonnage. **55**

Figure II.15 Absorption d'eau par capillarité. **56**

Figure III.1 adjuvant en % pour les différents mortiers autoplaçants étudiés. **59**

Figure III .2 Etalement des mortiers à base de la substitution de la vase

Figure III.3 V-funnel des mortiers à base de la substitution en MAPV **60**

Figure III.4 Densité des mortiers à l'état frais en fonction du pourcentage de substitution en vase. **60**

Figure III.5 Résistance à la compression des mortiers MAPV **61**

Figure III.6 Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage en substitution en vase des mortiers **62**

Figure III.7 Absorption d'eau des mortiers MAPV. **62**

Figure III.8 Evolution du retrait à l'air libre pendant les 28 jours des MAPV. **63**

Figure III.9 Perte de masse en fonction de l'âge des MAPV. **64**

Figure III.10 Evolution du gonflement dans l'eau pendant les 28 jours des MAPV. **64**

Figure III.11 **:** Gain de masse en fonction de l'âge des MAPV. **65**

liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	**:** Classification granulométrique [Coste et Sanglera, 1981]	9
Tableau I.2	plus simples définitions des faciès d'après Allen (cité par Boutin ,2000)	10
Tableau I. 3	Envasement des grands barrages en exploitation source ANBT)	13
Tableau I.4	Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage	27
Tableau I.5	Essais permettant la détermination de la capacité de passage	28
Tableau II.1	l'Analyse chimique du ciment et composition du clincker.	42
Tableau II.2	Essai physiques sur ciment.	43
Tableau II.3	Evolution de la résistance du ciment en fonction de lage	43
Tableau II.4	Essais effectués sur le déchet	46
Tableau II.5	Masses volumiques du sable utilisé	48
Tableau II.6	Equivalant de sable	49
Tableau II.7	Analyse granulométriques du sable	50

Liste d'abreviations

FFOM : fraction fermentescible des ordures ménagères
DIB : Déchets industriels banals
DIS : Déchets industriels spéciaux
DMS : Déchets ménagers spéciaux
DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé
MO : La matière organique
BAP : béton autoplaçant
LCPC: Laboratoire Central. des Ponts et Chaussées
BAN : béton auto nivelant
BO : béton ordinaire
E/C : eau/ciment
PMS : Le polymère de mélamine sulfonât
PNS : Le polymère de naphtalène sulfonât
LS : Les lignosulfonates modifiés
PC : polycarboxylate
CaSO4 : Le sulfate de calcium
$\mathbf{D_{max}}$: Le diamètre maximal
E/L : eau/liant
$\mathbf{R_C}$: La résistnce a compression

$\mathbf{R_t}$: La résistance a la traction

f_c : Résistance souhaitée du béton a 28 jours

C : Dosage du ciment

E : Dosage en eau

G/S : Le rapport gravier/sable
CPJ : Ciment portland composé
CPA : Le ciment portland artificiel

CaO : La chaux

$\mathbf{SiO_2}$: La silice

$\mathbf{Al_2O_3}$: L'alumine

Fe_2O_3 : L'oxyde de fer

ρ_{app} : Masse volumique apparente
ρ_{abs}: Masse volumique absolue
C: compacité
P: porosité

I: indice des vides

ES : Equivalent de sable à piston

ESV : Equivalent de sable à vue

Mf : Module de finesse

S : Le sable

MAP : mortier autoplaçant

MAPt : mortier autoplaçant temoin

MAPv : mortier autoplaçant vase

TVF : Le temps d'écoulement

NA : Norme Algérienne

NE : Norme Européenne

NB : Norme Belgique

NF : Norme francais

P : Pouzzolanes naturelles

D : Les fumées de silice

F : Les fillers

CPA : Le ciment portland artificiel

CHF : Ciment de haut fourneau

CPJ : Le ciment portland composé

Résumé

Dans le domaine de la construction, les recherches actuelles visent la production des éco-matériaux de parvenir au développement durable. Ce Nouveau type de matériau qui peut être un béton ou un mortier de ciment doit répondre aux doubles exigences économiques et écologiques pour assurer la Durabilité.

La modification de la matrice cimentaire, par incorporation des ajouts cimentaires, permet d'améliorer la microstructure des bétons et Mortiers et par conséquent, améliorer leur compacité et leurs performances.

L'objectif de ce travail de recherche consiste à l'étude de la possibilité d'élaboration d'un mortier autoplaçant (un éco-matériau) avec la substitution du ciment par 10, 20 et 30% de la poudre de Vase. Les résultats obtenus montrent que la substitution de ciment par la poudre de vase avec une finesse de SSB=3000 (cm2/g) fait diminue la résistance à la compression du mortier autoplaçant, augmenter le retrait total, Par contre une amélioration dans la compacité de tous les MAPV a été observée.

Ce MAP réalisé est considéré comme éco-matériau et il est fort recommandé aux ingénieurs du BTP et aux utilisateurs du ciment dans la construction.

Abstract

In the field of construction, current research focuses on the production of eco-materials to achieve sustainable development. This New type of material that can be a concrete or a cement mortar must meet double waters economic and ecological requirements to ensure the durability. The modification of the cementitious matrix, by incorporation of the cementitious additions, makes it possible to improve the microstructure of the concretes and mortars and there fore, improve their compactness and performance.

The objective of this research is to study the possibility of developing a self-compacting mortar (an eco-material) with the substitution of cement with 10, 20 and 30% of the Vase powder. The results obtained show that the substitution of cement by silt powder with a fineness of SSB = 3000 (cm2 / g) makes the compressive strength of the self-compacting mortar decrease, increasing the total shrinkage. On the other hand, an improvement in the compactness of all MAPVs has been observed

This realized MAP is considered eco-material and is highly recommended for construction engineers and cement users in construction.

ملخص

في مجال البناء ، يركز البحث الحالي على إنتاج المواد البيئية لتحقيق التنمية المستدامة . هذا النوع الجديد من المواد التي يمكن أن تكون ملموسة أو هاون الأسمنت يجب أن تلبي المتطلبات الاقتصادية والبيئية المزدوجة لضمان المتانة.

إن تعديل المصفوفة الإسمنتية ، من خلال دمج الإضافات الإسمنتية ، يجعل من الممكن تحسين البنية المجهرية للخرسانة والخرسانة، وبالتالي ، تحسين الاكتناز والأداء،

الهدف من هذا البحث هو دراسة إمكانية تطوير ملاط ذاتي الضبط (مادة بيئية) مع استبدال الأسمنت بنسبة 10 و 20 و 30٪ من مسحوق زهرية. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن استبدال الأسمنت بواسطة مسحوق الطمي بدقّة من SSB = 3000 (cm2 / g) يجعل النقصان قوة الانضغاط لملاط الخدمة الذاتية ، مما يزيد من الانكماش الكلي. من ناحية أخرى ، لوحظ تحسن في احتواء كMAPV.

MAP المحسنة هذا يعتبر مادة إيكولوجية وينصح بشدة لمهندسي البناء ومستخدمي الاسمنت في البناء.

Introduction générale

De nos jours, dans le domaine de la construction et des travaux publics, devant les besoins croissants en matériaux et devant les exigences de préservation de l'environnement dans une vision du développement durable, il est devenu nécessaire de prospecter et d'étudier toutes les possibilités

d'élaboration de nouveaux matériaux avec la réutilisation et la valorisation des déchets, Cependant, les contraintes d'ordre économique, écologique et technique de ces dernières années ont rendu nécessaire la valorisation et le recyclage des déchets. Par conséquent, dans plusieurs pays du monde, beaucoup d'importance est donnée à la valorisation des déchets et de sous-produits industriels dans la fabrication du ciment et du béton. Dans ce contexte, dans plusieurs universités du monde entier, les laboratoires de recherche sur les matériaux travaillent sur le développement de nouveaux composites cimentaires à base de déchets, dans le but de réduire le coût de réalisation, d'éliminer ces déchets de l'environnement d'une part, d'autre part d'améliorer les propriétés mécaniques et physiques des mortiers et des bétons. Dans cet axe, ce travail de recherche a pour objectif l'étude de la possibilité d'élaboration d'un mortier autoplaçant (un éco-matériau) avec la substitution du ciment (de 0% 10%, 20% et 30%) par la poudre du vase cuite.

Cette vase provient du fond du barrage EL ADRATE de la daïra d'EL OMARIA wilaya du MEDEA, pour raison économique et environnementale, il est intéressant d'examiner la possibilité de l'utiliser pour la fabrication d'un mortier autoplaçant.

Pour les besoin de cette étude, ce travail est donc structuré comme suite :

On commence par une introduction générale suivi de trois chapitres, le premier chapitre est une revue bibliographique elle-même divisée en deux parties, la première est la définition d'un béton autoplaçant et son domaine d'utilisation puis on a détaillé le mortier autoplaçant et ces essais, La deuxième est valorisation de déchet,

Le deuxième chapitre, présente les matériaux et les essais d'identification qu'on a effectués sur les granulats et le mortier a l'état frais et a l'état durci.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations, les différentes résultats sont analysés indépendamment les uns des autres.

Enfin, on termine ce travail par des conclusions générales et des recommandations pour le future afin de bien contuner et compléter ce modeste par l'initiation à la recherche.

CHAPITRE 01 :

Synthèse bibliographique

I.1. Notion de déchets

I.1.1.Introduction

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer son traitement. Il s'agit donc de « mesurer pour connaître et connaître pour agir ».

L'approche globale du déchet permettra de définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir. Dans cette partie, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans les différents domaines.

I.1.2.Définition

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet. Parmi les nombreuses définitions existantes, nous pouvons mentionner celles qui nous paraissent les plus intéressantes **[1]** :

- Le déchet est un résidu abandonné par son propriétaire, car inutilisable, sale ou encombrant ;
- Considéré comme déchet, 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 destiné à l'abandon ;
- Les déchets sont des résidus de l'emploi de matières solides qui peuvent être putrescibles ou non putrescibles ;
- Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses.

La Loi N°01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit :

« **Déchets :** tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer ».

I.1.3. Différents types de déchets

I.1.3.1. Déchets ultimes

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

I.1.3.2. 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 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.

I.1.3.3. Déchets assimilés

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

I.1.3.4. 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, boues (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc.… .

I.1.3.5. 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.

I.1.3.6. Déchets dangereux

A. 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.…

B. 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 **[2]**

I.1.4. Recyclage des déchets

I.1.4.1. Définition

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 ordinaires. C'est une des activités économiques de la société de consommation ;
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 **[2]**. 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 ;
- recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage

Pour lutter contre l'augmentation des déchets, le recyclage est donc nécessaire, mais il doit être inclus dans une démarche plus large.

I.1.4.2. Les type des déchets recyclés

A. Travaux publics : des matériaux recyclés au service des chantiers routiers et VRD. Les déblais inertes sont reçus sur site, contrôlés, triés puis recyclés. De la fraction valorisable des déblais, naît le "granulat recyclé", sous la forme de sables, gravillons, graves et cailloux.

B. Bâtiment : des matériaux recyclés pour les applications bétons. Le granulat recyclé est issu de la déconstruction des ouvrages en béton pour être ensuite réintroduit dans la filière béton. L'utilisation des matériaux recyclés dans ce domaine est très réglementée et fait l'objet d'études approfondies et de projets de recherche en cours.

I.1.4.3. Matériaux de recyclage autorisé

Parmi les matériaux recyclés autorisé pour la construction sont:

A. Remblais

- Sables de criblage de débris ;
- Sables de concassage de débris ;
- Concassés de débris de béton ;
- Concassés de débris de maçonnerie ;
- Concassés mixtes (débris de béton et maçonnerie) ;
- Concassés de débris d'enrobés Hydrocarbonés .

B. Sous-fondation

- Sables de concassage de débris ;
- Concassés de débris de béton ;
- Concassés mixtes (débris de béton et maçonnerie) ;
- Concassés de débris d'enrobés Hydrocarbonés .

C. Fondation et empierrement

- Sables de concassage de débris ;
- Concassés de débris de béton (ρ>1950 kg/m³) ;

D. Fondation en empierrement stabilisé au ciment

- Sables de concassage de débris ;
- Concassés de débris de béton ;
- Concassés de débris d'enrobés Hydrocarbonés.

.

E. Béton maigres

- Sables de concassage de débris ;
- Concassés de débris de béton ;
- Concassés mixtes (débris de béton et Maçonnerie) .

F. Revêtements de chaussées en enrobes bitumineux

- Sables de concassage de débris ;
- Concassés de débris d'enrobés Bitumineux .

G. Pavages

- Sablage de concassage de débris .

I.1.5. Conclusion

Plusieurs types de déchets et de sous-produits peuvent être utilisés comme granulats. L'utilisation des divers déchets est fonction de leur rentabilité d'exploitation et de leurs propriétés. De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques ;
Dans cette recherche on s'intéresse aux déchets du vase cuite dans la fabrication d'un mortier autoplaçant.

I-2 Les Sédiments de dragage

I-2-1 Définition et l'origine des sédiments

Les sédiments sont définis comme "un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport" appelés communément vases. Dans le dictionnaire de géologie **[3]**

Les sédiments sont des matériaux solides particulaires qui véhiculés par l'eau, finissent par décanter sur le fond. Ils proviennent de l'érosion du bassin versant, des berges, du ruissellement sur les surfaces imperméabilisées et des rejets de toute nature. Ils sont constitués de particules de différentes tailles selon s'il s'agit de limons, de sables, de graviers, ou de galets. Ces éléments solides se déplacent soit en suspension dans l'eau soit par charriage sur le fond de la rivière. Quand le courant d'eau ralentit suite à un élargissement du cours d'eau ou quand la charge solide excède occasionnellement ce que la capacité de transport permet d'évacuer, les éléments décantent et sédimentent, provoquant l'envasement du cours d'eau. Les sédiments peuvent être d'origines naturelles ou anthropiques ;

- Les particules d'origines naturelles peuvent être endogène (constituées principalement de matière organiques provenant des organismes aquatiques : plantes aquatiques, cadavres de micropyles et d'animaux) ou exogène (particules minérales provenant de l'érosion du bassin versant ou de l'érosion éolienne des sols ces particules exogènes peuvent être minérales ou organiques). Celles ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère. **(**Figure I.1) ;
- Les particules d'origines anthropiques peuvent être minérales ou organiques (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques) Le lieu où se déposent les particules et leur taille dépendent principalement de la force du courant et de l'environnement géologique.



Figure I.1: Le Transport Des Sédiments

1-2-2 Composition structurale des sédiments

La composition des sédiments est variée. Elle dépend de la constitution des éléments de nature minérale, de l'eau et des matières organiques ainsi que leurs influences sur les propriétés géotechniques du sédiment ;

La composition minérale des sédiments diffère selon leur provenance. Les blocs, les cailloux, les graviers et les sables sont des sédiments terrigènes c'est-à-dire, issus de l'érosion des sols, leur nature chimique dépend principalement des terrains érodés. Ils sont classés en fonction de leurs tailles, on distingue ainsi : les argiles et les limons. [**5]**

La fraction fine, relative aux particules inférieures à 80µm est la fraction caractéristique de toute vase. Cette fraction engendre généralement des comportements complexes provoqués par les interactions entre les particules minérales, les interactions de ces particules avec l'eau contenue dans le milieu, les ions présents dans le milieu, et aussi les éléments organiques ;

La taille des cations va aussi jouer son rôle, car plus ils seront de grosse taille, plus ils auront de difficultés à s'insérer entre les feuillets, et donc à jouer un rôle dans le comportement des matériaux fins ;

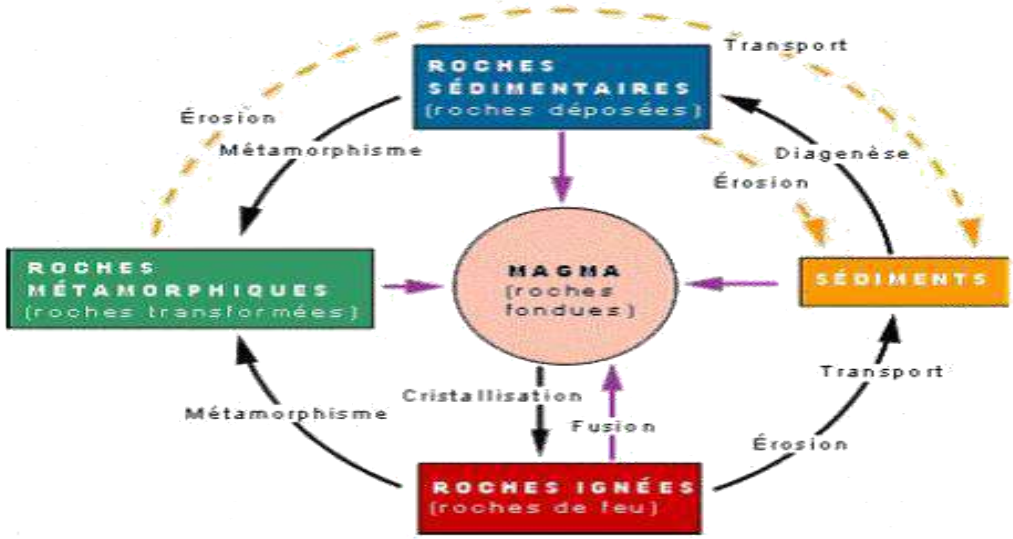


Figure I.2: Cycle altération –transport – sédimentation **[6].**

I-2-3. Les processus de transport et de sédimentation

La désagrégation et l'altération des matériaux rocheux fournissent une matière meuble désorganisée et peu résistante, qui peut être entraînée par la gravité et les agents d'érosion. Les principaux agents d'érosion sont : l'eau, la glace et le vent. En particulier, les eaux courantes vont transporter la matière meuble jusqu'à une nouvelle situation d'équilibre où une sédimentation va s'e²ffectuer ;

Les sédiments ainsi formés seront d'abord des alluvions, c'est-à-dire le dépôt est parfois situé très loin de la partie d'origine de ses éléments. Les alluvions sont susceptibles de se transformer ensuite, par cimentation naturelle, en roches sédimentaires détritiques indurées. L'histoire de la terre étant longue et complexe, ce processus de cycle (altération-transport-sédimentation) peut se reproduire plusieurs fois au cours des temps géologiques ;

Tableau I.1: Classification granulométrique [Coste et Sanglera, 1981

Dénomination	Diamètre (mm)
Argile	d < 0,002
Limon	0,002< d < 0,063
Sable	0,063< d < 2
Gravier	2 < d < 20
Cailloux	20 < d

Le faciès des sédiments sera lié à ses conditions de dépôt, en milieu marin, en milieu lagunaire, en milieu lacustre. Les principaux processus de formation et d'évolution des matériaux sédimentaires.

I-2-4 Définition de la vase

I-2-4-1 Qu'est-ce qu'une vase ?

Le nom de vase (mot emprunté au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau . Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries).[**7]** ;

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes. La Figure (1.4) donne un exemple de passage de remblai de l'autoroute A10 sur une épaisseur importante de la vase.

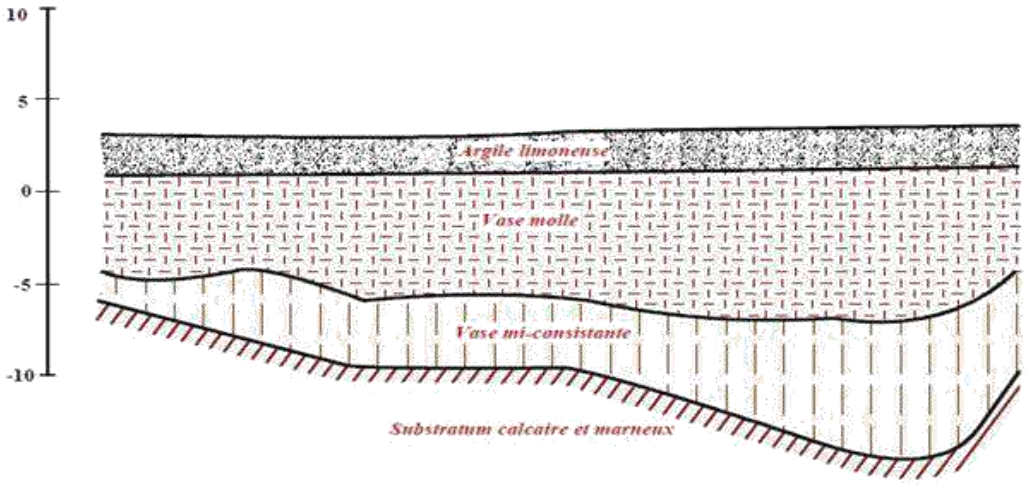


Figure I.3: Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10 (Scetauroute, 1986) cite Par Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C

I-2-4-2 La définition proposée par Migniot

«Les vases sont des sédiments complexes qui couvrent une gamme étendue de particules inférieures à 40 microns mais peuvent contenir une quantité notable d'éléments sableux».Les différentes classes de sédiments interviennent rarement seules. On définit alors différents faciès lithologiques qui varient encore avec les auteurs et les pays. [A. SEMCHA 2006]

Tableau I.2: Les plus simples définitions des faciès d'après Allen (cité par Boutin, 2000)

Dénomination	Caractéristiques
Sable	Plus de 80 % d'éléments supérieurs à 50 µm
Sable vaseux	De 20 à 80 % d'éléments supérieurs à 50µm
Vase	Plus de 80 % d'éléments inférieurs à 50 µm

I-2-5 Composition des vases

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces

fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases. [Agence de l'eau de France 2002].

IL y a quatre éléments principaux constitués Les vases :

- La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates) ;
- La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite) ;
- la fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acide fulvique et humiques) ;
- Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes ;

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules, constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 µm, il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines. Il est communément considéré que les «Vases» correspondent à la fraction inférieure à 63 µm.



Figure I.4: Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires [N.PROULHAC, KER LANN 2006]

Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie. Figure (I.4).

I-2-6 Particularité des retenues en Algérie

L'Algérie dispose de plus de 110 barrages en exploitation totalisant une capacité de 4,5 milliards de m^3 et permettant de régulariser un volume annuel de 2 milliards de m^3 utilisées pour l'A.E.P., l'industrie et l'irrigation;

Selon Remini B. (2002), l'Algérie figure parmi les contrées les plus dangereusement menacées par l'érosion et l'envasement des retenues. Les retenues algériennes étant essentiellement destinées au stockage et à la régulation de la ressource eau, sont d'autant plus vulnérables qu'elles sont défavorisées sous le rapport du régime des rivières lié à une pluviosité sous forme d'averses de fortes intensités et de courtes durées;

Or, du fait de l'érosion assez sensible (pluie de courte durée, de forte intensité, absence du couvert végétal et relief assez jeune …), l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20 millions de m^3 par le dépôt des sédiments dans les retenues. La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'années. I1 est rare cependant, que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte, l'abandon d'un aménagement hydraulique particulièrement lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio- économiques justifient une garantie de service illimitée. I1 importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible, de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de sauvegarder au maximum l'existence de la retenue en luttant contre ce phénomène ;

Le taux d'envasement a augmenté au début des années 2000 ; cela est dû surtout à la sécheresse qui a sévi dans notre pays durant les années 1990, suivi des années humides. Cette alternance d'années sèches et humides a provoqué une forte érosion des bassins versants. En effet les années 90 (sèches) ont été caractérisées par une faible couverture végétale et des sols disséqués et ameublis. IL est plus ressenti à l'ouest du pays suivi de la région centre et l'Est.

L'envasement des grands barrages en exploitation est donné dans le tableau I.3.

Tableau I.3. Envasement des grands barrages en exploitation (source ANBT)

Région	Nombre de Barrages	Capacité initiale (Hm3)	Date Dernier levé Bathymétrique	Capacité dernier levé (Hm3	Envasement moyen annuel (Hm3)	Envasement dernier levé (Hm3)	Taux d'envasement %
Ouest	13	1204,88	2004	1015,16	9,14	189,72	15,75
Cheliff	16	2209,40	2005	1639,39	23,77	573,01	25,94
Centre	12	1576,50	2005	1549,03	3,57	27,49	1,74
Est	23	2754,00	2004	2 586,40	11,38	167,60	5,31
Total	64	7744.78		6786,98	47,86	957,82	12,37/14,11

La région Chleff représente à elle seule environ le tiers de l'envasement total des barrages algériens (289 hm^3, figure I.5);

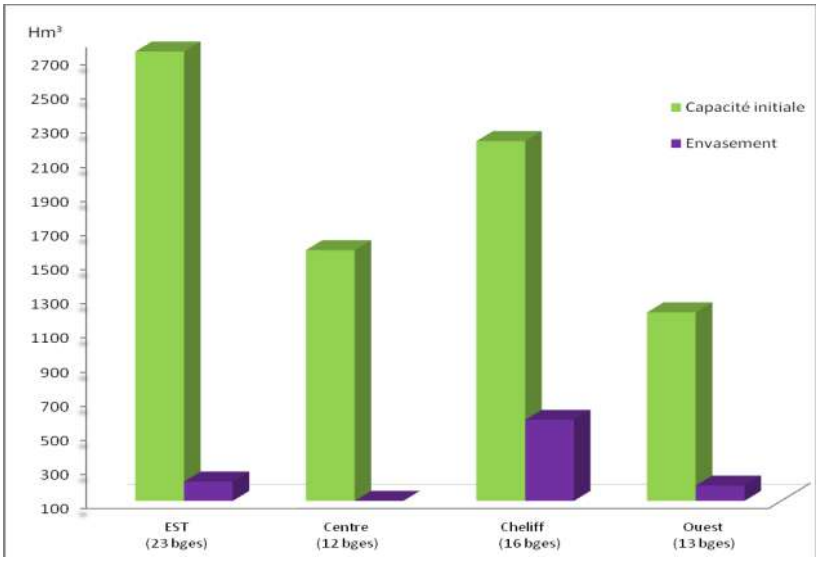


Figure I.5. Histogramme Capacité / Envasement par Région (ANBT)

Parmi les multiples procédés de lutte expérimentés sur les barrages algériens, à savoir : le reboisement des bassins versants, la surélévation des digues, les corrections torrentielles (figure I.6), la construction de barrages de décantation et l'utilisation du barrage à onde de chasse (le programme de 2004 de la Direction Générale des forêts a concerné les bassins versants de 09 barrages), il a été fait recours à des opérations de dragage;

Un important programme est en cours d'études au niveau de l'Agence Nationales des Barrages et Transferts et qui concerne le traitement et la protection des bassins versants d'une

trentaine de barrages et portera sur la réalisation d'ouvrages de cappture De sédiments, de retenues collinaires, la réalisation de drains et exécutoires et la protection des abords routiers.

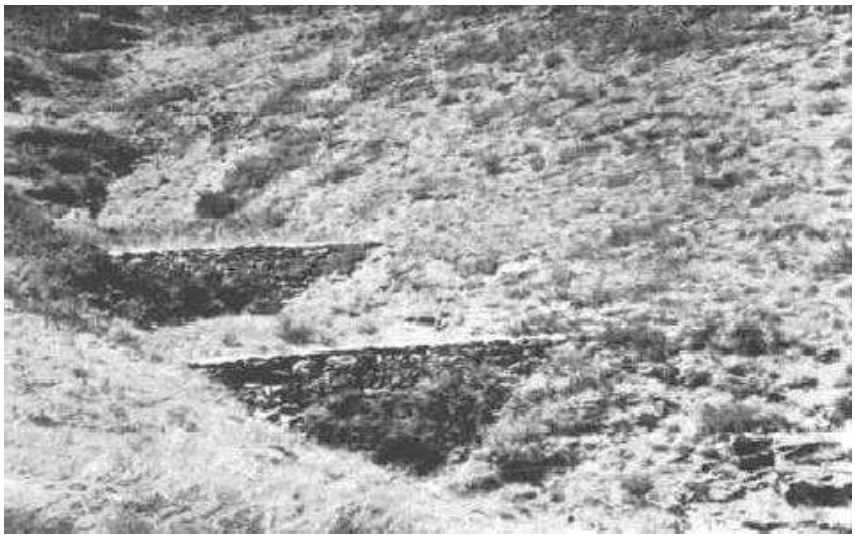


Figure I.6. Correction torrentielle dans un cours d'eau (ANBT)

Cet ambitieux programme traduit la prise de conscience en Algérie des conséquences ravageuse résultant de l'impact négatif de l'érosion des sols et les mesures préventives à prendre pour en atténuer l'impact.

Soutirages : l'Algérie a connu ces 25 dernières années une sécheresse persistante ayant un impact négatif sur le niveau de remplissage des barrages. Par conséquent les chasses et les lâchés par vidange de fond au moment des crues n'ont pu être effectués au détriment de l'envasement.

Surélévation : l'Algérie a été parmi les premiers pays du monde à pratiquer la surélévation des barrages. Cette pratique a concerné neuf (09) barrages pour un gain de capacité de l'ordre de 170 hm3. Cette technique implique de lourds travaux de génie civil et ne peut être envisagée pour tous les barrages.

Dévasement par dragage : en Algérie cette alternative est incontournable afin de permettre aux barrages de continuer à sécuriser l'AEP des populations et les besoins pour l'irrigation, et ce, eu égard à la rareté des sites pour la construction de nouveaux barrages;

La première expérience de dragage par drague suceuse, acquise en 1986, est celle du barrage de Fergoug durant la période 1986 à 1989. Cette drague a été utilisée sur plusieurs autres sites

avec les mêmes objectifs : la récupération d'une partie des volumes de stockage perdus par envasement.



Figure I.7. Drague activant dans la retenue du barrage Foum-El-Gherza (Biskra)

Ces opérations de dragage de volumes considérables de matières solides à l'état vaseux, n'ayant pas trouvé de réglementation ni de tradition sur le devenir de ces matériaux issus du dragage, ont eu des retombées spectaculaires sur l'environnement.

I-2.7 Etat de l'Art sur la valorisation des sédiments dans le domaine Génie Civil

Le domain de la construction consommé des quantités importantes en granulats. La plupart de cette quantité provient de carrières naturelles;

Cependant, l'ouverture de nouvelles carrières est soumise à d'une réglementation de plus en plus sévère et des normes environnementales plus exigeantes. D'un autre coté, le volume annuel de sédiments dragués est de plusieurs millions de mètres cubes. Par conséquent, ce volume important peut constituer une source d'approvisionnement en granulats pour le secteur de la construction. Depuis quelques années, les applications sédimentaires dans le Génie Civil sont de plus en plus étudiées. La composition principale du sédiment est le sable, l'argile et le calcaire. Le pourcentage de ces derniers peut varier selon l'origine du sédiment.

Pour confirmer cette hypothèse, nous avons prélevé un échantillon du barrage (EL ADRATE d el 'OMARIA) Nous avons mené des études sur ce sujet et à la suite du prochain chapitre



Figure I.8: barrage El ADRATE à OMARIA.

I.3. Le béton autoplaçant

I.3.1 Introduction

Cette partie sera consacré à l'historique du béton autoplaçant, les avantages de son utilisation, ses composants, ses propriétés, ses caractéristiques et sa formulation tout en regroupant en général les travaux de recherche antérieurs dans ce domaine.

I.3.2 Historique

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 [**8] [9]**. C'est ainsi qu'est né le concept des bétons autocompactants ("self-compacting concrète", traduit par béton autoplaçant ou béton autonivellant). La nécessité de ce type de béton a été proposée par OKAMURA en 1986 **[10] [11]**. Des études pour développer le béton autoplaçant y compris une étude fondamentale sur l'ouvrabilité du béton ont été effectuées par OZAWA et ses collègues à l'université de Tokyo **[12] [13]** ;

L'idée d'un béton fluide ou béton autoplaçant (BAP) est apparue en 1989, alors que les Japonais avaient besoin d'un béton qui n'exige pas une main d'œuvre nombreuse et qualifiée, et qui fournisse une résistance à la compression élevée à jeune âge pour pouvoir augmenter la productivité. Ainsi, le progrès et l'évolution en génie civil dans différentes applications telles que les ponts suspendus, les grattes ciel et surtout la grande orientation de l'usage des bâtiments vers une utilisation spécifique et une qualité architecturale accrue, ont été les enjeux concrets du développement des bétons fluides **[14]** ;

L'intérêt des autres pays pour ce type de béton n'est apparu qu'après quelques années, mais il est en plein essor. En France le LCPC (Laboratoire Central. des Ponts et Chaussées) se penche sur la question au début des années 90. Les premières applications en grandeur réelle sont réalisées au début de 1988, à Brest, sur le chantier d'extension du parc de loisirs Océan polis pour des voiles courbes de grande hauteur fortement ferraillés. Aussi lors de la construction d'un collège dont les façades sont inclinées, à géométrie complexe, et des formes non répétitives excluant toute possibilité de préfabrication **[15]** ;

Dans des cas particuliers, le BAP peut être considéré comme un béton auto nivelant (BAN). Cette dénomination n'est pas utilisée par tous les auteurs, puisque certains d'entre eux font la distinction entre le béton autoplaçant et le béton auto nivelant, le premier terme étant employé lorsqu'il s'agit d'un coulage vertical et le second correspondant à une mise en œuvre horizontale **[16] [17]** ;

Le premier article sur le béton autoplaçant a été publié en 1989 par OZAWA **[18] [19]**, et en 1992 OZAWA et d'autres collègues ont présenté un travail sur ce sujet à une conférence internationale de béton tenu à Istanbul **[20]**. Cette présentation a accéléré l'intérêt international pour le béton autoplaçant ;

En 1998 le premier atelier international sur le béton autoplaçant été tenu à Kochi au Japon. Grace aux efforts de Ozawa et ses collègues une recherche plus intensive prospérée, particulièrement à de grandes compagnies de construction en Asie et en conséquence le béton autoplaçant été employé pour la réalisation de plusieurs structures comme des ponts, tunnels, bâtiments, etc.… **[10] [21]**.

I.3.3. Définition d'un béton autoplaçant

Les bétons autoplaçant (BAP) sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons » car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement **[18]** ;

La spécificité des BAP par rapport aux bétons traditionnels réside dans le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en œuvre. Se compactant sous l'effet de leur propre poids, ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine ;

La fluidité des bétons autoplaçant est due à une quantité de fine élevée et à l'utilisation des superplastifiants. Ces adjuvants spécifiques issus de technologie moléculaire récente permettent de réduire de manière importante le volume d'eau, tout en conférant au béton autoplaçant une importante fluidité, ils assurent aussi le maintien de l'ouvrabilité du béton durant un temps déterminé. Une nouvelle famille d'adjuvants, appelés agents de viscosité, entre également parfois dans la formulation des BAP qui vont donner une viscosité à la pâte **[22]**. En effet, la qualité de matériau autoplaçant confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire **[24]**.

I.3.3.1. Avantages techniques

Avec l'apparition des BAP, les opérations traditionnelles de coulage, d'étalement, de talochage et de surfaçage se réduisent à une étape de coulage suivie d'un déballage dans le cas des applications horizontales. Pour les opérations verticales, les divers déplacements sur les banches, à travers trappes et échelles, sont réduits de manière significative. On peut résumer ses avantages techniques dans les points suivants:

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé) ;
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés ;
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers ;
- Réalisation d'éléments de forme plus complexe ;

I.3.3.2 Avantages économiques

Nous avons vu que la fluidité des BAP est telle qu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. La suppression de la phase de vibration est particulièrement bénéfique pour les personnes chargées de la mise en place, puisque cela implique :

- une diminution du bruit sur site ;
- une diminution de la pénibilité des tâches ;
- une réduction des risques d'accident ;
- Réduction du coût de la main d'œuvre ;
- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier ;
- Réduction du temps de bétonnage et des besoins de ragréage. Toutefois, certains points restent à surveiller dans l'utilisation du béton autoplaçant ;
- Augmentation du coût des matières premières, par la présence des nouveaux adjuvants, et des différentes additions minérales ;
- Compatibilité des matériaux ;
- Etanchéité des coffrages.

I.3.4. Les composants d'un BAP

Les BAP sont des bétons à quatre composants : les granulats, le liant, l'eau et les ajouts. Les granulats et le ciment utilisés pour un BAP sont les mêmes que ceux utilisés pour la fabrication d'un béton ordinaire. Ce qui particularise la composition des BAP, c'est la proportion des différents constituants et non pas leurs propriétés. En plus des granulats, la formulation d'un BAP se distingue par la présence d'un ajout chimique et /ou minéral **[23,24]**. Les constituants de base d'un béton ordinaire sont le ciment, l'eau et les granulats. Les différents constituants proposés pour composer les bétons autoplaçant, en plus du ciment et de l'eau dosés de manière à obtenir une résistance mécanique donnée, sont : Les granulats, les fines, le superplastifiant et parfois l'agent de viscosité. La figure I.9 montre les composantes des deux types de béton, le béton ordinaire et le BAP.

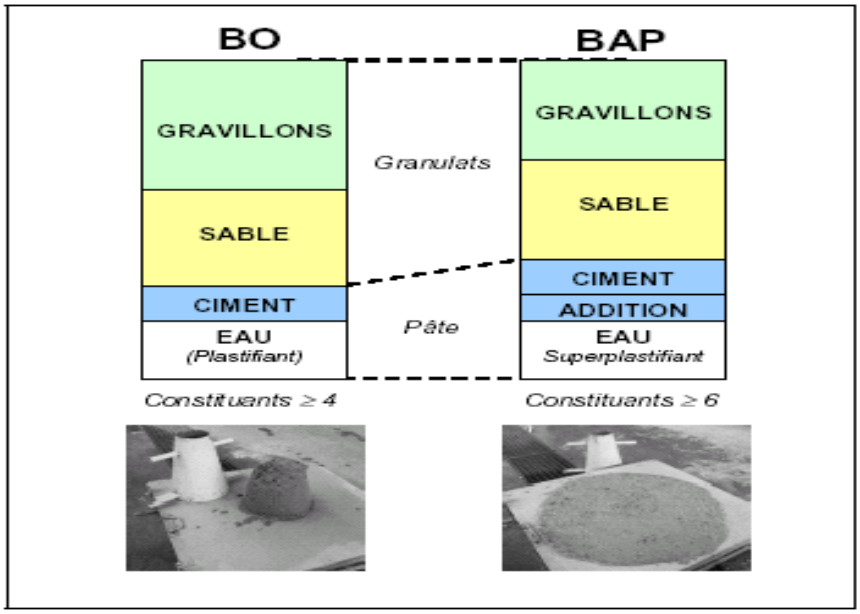


Figure I.9 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP.

I.3.4.1. Les granulats

Les BAP sont réalisés avec des granulats roulés ou concassés, toutefois, comme pour un béton ordinaire, la forme des granulats a une influence sur le comportement rhéologique. Le coefficient de frottement est plus faible entre les granulats roulés qu'entre les granulats concassés ;

Les granulats roulés présentent par ailleurs un plus petit vide inter granulaire, ce qui nécessite une plus petite quantité de pâte de ciment pour le remplir. Les granulats permettent tout d'abord de réduire considérablement le coût global du béton (cinq fois moins chers que le ciment), mais leur influence est déterminante sur la résistance mécanique du béton à l'état durci. La résistance mécanique du béton dépend fortement de la nature des granulats (propriétés intrinsèques), et de la compacité du squelette global, ainsi que l'adhérence entre les granulats et la pâte du béton **[25]** ;

D'autre part le sable est un facteur important pour la fabrication du BAP vu qu'il a une influence déterminante sur ses propriétés à l'état frais. Si la proportion de sable augmente par rapport au gravier, la demande en eau et le rapport E/C augmentent, tandis que la viscosité diminue. Et inversement en cas de diminution de la proportion de sable. Le sable présente une demande en eau réduite lorsque sa teneur en fines est faible **[26]** ;

Par ailleurs la flottabilité des granulats concassés dans la pâte de ciment est meilleure, raison de leur plus grande surface spécifique à masse identique ;

Afin d'empêcher tout risque de blocage lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 15 mm. Dans sa thèse Bethmont **[27]** explicite que la taille maximale D max des granulats, étant un facteur non négligeable, peut provoquer un blocage. Il apparaît que le risque de blocage, pour un ferraillage donné, augmente lorsque le diamètre maximum des granulats augmente. Jin **[28]** reporte que Fujiwara et al., ont cal.culé, dans le cas d'un ferraillage unidirectionnel (ferraillage vertical. uniquement) et dans le cas d'un ferraillage bidirectionnel (ferraillage verticale et horizontal), un espacement minimum au-delà duquel le risque de blocage diminue.

I.3.4.2. Le ciment

Les ciments les plus courants dans le monde du génie civil, sont les ciments à base de clinker Portland, produit obtenu par la cuisson d'un mélange de calcaire et d'argile. Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous la forme d'une poudre minérale fine, s'hydratant en présence d'eau, et forme une pâte qui fait prise et durcit progressivement à l'air ou dans l'eau. Le durcissement du ciment est principalement dû à l'hydratation du silicate tricalcique, un composant majeur du clinker. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide, en liant les différents constituants ;

Le clinker est accompagné de sulfate de calcium (gypse ou anhydrite) nécessaire pour régulariser la prise, c'est à dire faire en sorte que le béton (ou la pâte de ciment) reste en phase dormante pendant une période suffisamment longue (de l'ordre d'une heure et demi) avant le passage à l'état solide. Cette phase est propice à la réalisation des tests d'écoulement puisqu'on considère que la structure de la matrice n'est pas modifiée par le processus d'hydratation. Différents types de ciment existent sur le marché, et se distinguent par leurs relations avec les propriétés du béton. Ainsi, le choix du type de ciment, est conditionné par les performances souhaitées du béton (résistance à la compression, temps de début de prise, etc.) ;

Le dosage du ciment dans le béton est très souvent relié aux propriétés mécaniques et á la durabilité du béton. Le rapport E/C est un facteur très influent sur les différents aspects des bétons. Ce rapport a toujours été associé directement à la résistance mécanique du béton et sa durabilité, et la formulation des bétons ordinaires passaient par l'optimisation de ce phénomène. Toutefois, l'introduction de nouveaux matériaux (additions minérales, adjuvants

avec un extrait sec solide) porte un intérêt particulier à l'utilisation de la concentration volumique en solides puisque ce paramètre prend en compte tous les constituants du béton **[25]**.

I.3.4.3. Les ajouts minéraux

A. La fumé de silice

Le fumé de silice est un sous-produit industriel résultant du dépoussiérage des fumées issues des fours à arcs électrique dans lesquels sont élaborés du silicium et autres alliages. La fumée de silice se combine avec l'oxygène de l'air pour sonner de l'oxyde de silicium SiO2 en quantité prédominante (> 90%). La taille fines de ses particules permet d'étendre la granulométrie de l'ensemble du squelette granulaire en comblant les vides et en augmentant la compacité. En plus, sa structure amorphe permet de déclencher une réaction pouzzolanique par la consommation de la chaux et la création de nouveaux hydrates.

B. Cendres volantes

Les cendres volantes sont de fines particules résultats de la combustion du charbon dans une centrale électrique. En 1937 R. E. Davis de l'université de Californie présenta une étude sur l'utilisation des cendres volantes en cimenterie et depuis les études se sont multipliées et son utilisation s'est répandue à cause des améliorations apportées et l'économie enregistrée par son emploi.

C. Laitier des hauts fourneaux

Le laitier des hauts fourneaux est un sous-produit de l'usine sidérurgique formée essentiellement de silicates et d'aluminosilicates de calcium et d'autres substances minéral.es. Une fois sorti du four, il subira un refroidissement rapide avec un jet d'eau qui lui donne une structure vitreuse apte à réagir avec l'hydroxyde de calcium libéré par l'hydratation du ciment. L'utilisation de ce sous-produit date de plus d'une centaine d'années où on enregistre la première production d'un ciment au laitier en Allemagne (1892) puis aux USA (1896).

I.3.4.4. Les Superplastifiants

Les superplastifiants sont des formes avancées de plastifiants. Ce sont des produits qui peuvent être ajoutés au béton en plus petite quantité que les plastifiants, soit au plus 2% du poids du ciment, sans pour autant créer des effets secondaires (effet retardateur excessif, entraînement d'air). La compétition entre l'effet de défloculation et le ressuage détermine

l'influence globale des superplastifiants sur la zone de transition inter faciale. Selon le rapport E/C utilisé, les superplastifiants peuvent avoir un effet bénéfique ou délétère. Avec un E/C de 0.55, le ressuage est dominant, ce qui occasionne une zone de transition inter faciale de moindre qualité dans la plupart des cas. Il s'agit par contre d'une situation extrême puisque l'utilisation des superplastifiants n'est généralement pas nécessaire à un tel rapport eau/ciment. Avec un E/C de 0,4, le compromis entre la défloculation et le ressuage se reflète bien, par l'excès de conductance inter faciale, l'ajout de superplastifiant et l'augmentation de son dosage apporte une meilleure dispersion des grains de ciment mais favorise également le ressuage.
Le meilleur compromis est au point de saturation, où l'excès de conductance inter faciale est semblable avec et sans superplastifiant **[29]**. D'après des résultats antérieurs sur le même projet, à un E/C de 0,35, ces superplastifiants ont un effet bénéfique sur la zone de transition inter faciale. En conséquence, l'utilisation des superplastifiants comme réducteurs d'eau peuvent améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité du béton. Il existe plusieurs générations de superplastifiants, correspondant à différents polymères ou différentes configurations de ces polymères, qui ont été élaborées au cours des dernières années **[29]**.

Les superplastifiants peuvent être regroupés de la manière suivante :

- Le polymère de mélamine sulfonât (PMS)
- Le polymère de naphtalène sulfonât (PNS)
- Les lignosulfonates modifiés (LS)
- Les superplastifiants à base de polyacrylate, polycarboxylate (PC) ou de polyéthylène.

En effet, ils sont composés d'une chaîne chargée venant s'absorber à la surface des particules. Une surface sur laquelle sont greffées d'autres chaînes se déployant dans la solution. Uchikawa et al. **[30]** prouvent, pour la première fois, l'action des forces stériques responsables de la dispersion dans une pâte de ciment. Ces forces sont prépondérantes suivant la nature du polymère. Un polymère branché conduit à un effet stérique important du fait des longues chaînes, alors qu'un polynaphtalène est régi par l'effet électrostatique. Neubauer et al. **[31]** ont montré que l'effet stérique est très important dans la défloculation des pâtes de ciment. Néanmoins, suivant la nature du superplastifiant utilisé les deux effets sont combinés, avec parfois une prédominance de l'un des deux.

Nous pouvons ainsi distinguer, de manière très simplifiée, les polyélectrolytes (ancienne génération) des polymères greffés **[32]** (nouvelle génération). El-Barrak dans sa thèse **[26]** souligne que l'effet des polyélectrolytes, comme leurs noms le laissent supposer, est basé sur les répulsions électrostatiques. Ils viennent s'absorber à la surface des particules de ciment créant ainsi une force répulsive par la présence de charges de même signe. Flatt et al. **[32]** étudient l'absorption de superplastifiants sur des poudres modèles, avec un PH et un potentiel Zeta identiques à celui d'une pâte de ciment. Ils relient la répulsion électrostatique au potentiel Zeta.

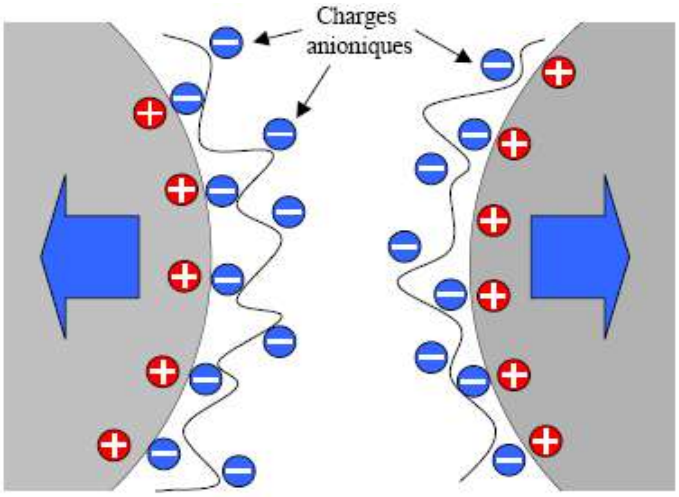


Figure I.10 : Répulsion électrostatique entre deux particules de ciment.

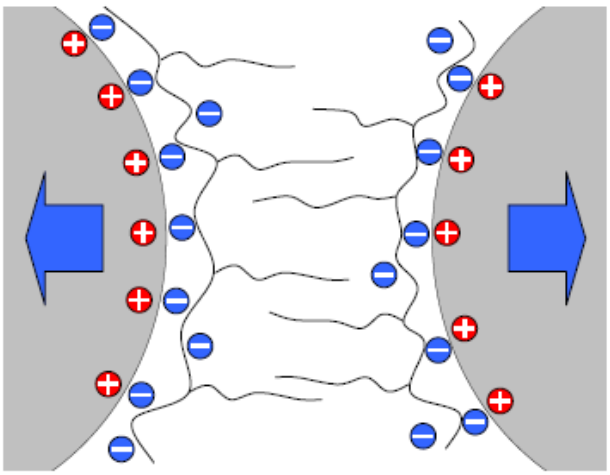


Figure I.11 : Particules de ciment recouvertes de polymères à fort encombrement stérique **[26].**

Les phénomènes d'incompatibilité ciment- super plastifiant sont dus à une interaction entre le super plastifiant et le sulfate de calcium (gypse - $CaSO_4 - 2H_2O$) contenu dans le ciment, en empêchant ce dernier de débloquer l'hydratation du C_3A en formant une coquille d'ettringite. Ce problème d'incompatibilité se présente surtout dans les bétons à faible E/C (BHP). Dans tel cas on remarque une perte de fluidité (affaissement) rapide.

Cependant, cette incompatibilité est très rarement remarquée dans les bétons avec un E/C > 0,5. En plus, Agrawal et al. **[33]** ont trouvé que la compatibilité du super plastifiant avec le ciment dépend plus de la qualité du ciment ou du liant. Ainsi le ciment de classe 52,5 est plus compatible que les classes 32,5 et 42,5. En plus ils ont trouvé que le ciment au laitier était compatible avec tout le superplastifiant qu'ils ont utilisé **[34]**.

I.3.4.5 L'eau de gâchage

L'eau utilisée ne doit pas présenter un excès d'impuretés **[35]** qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, des armatures, etc.). Une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), al.ors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la matrice du béton. Cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton, en agissant sur la concentration en solides de la suspension entre les granulats **[34]**. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides ; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent. Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais. König et al. **[36]** ont utilisé, avec succès, de l'eau recyclée pour la fabrication d'un béton auto plaçant dans le cadre de béton prêt à l'emploi.

I.3.4.6 Les agents de viscosité

Généralement les superplastifiants diminuent la viscosité du béton, ce qui rend le matériau plus sensible vis-à-vis du phénomène de ségrégation. Les agents de viscosité ont, eux, la propriété essentielle de modifier le comportement rhéologique des milieux aqueux dans lesquels ils sont utilisés (ce rôle peut aller du simple épaississement jusqu'à la gélification) et peuvent être utilisés avec intérêt dans la composition des BAP. Si la formule ne contient pas d'agent de viscosité, il est nécessaire d'avoir une plus grande quantité de liant pour assurer un écoulement sans ségrégation.

Les agents de viscosité peuvent être de différentes natures :

- Polysaccharide obtenu par fermentation microbiologique du type gomme welan ou gomme de xanthine ;
- Dérivés cellulosiques à base de méthyle cellulose, d'hydroxy-éthyl cellulose ;
- Colloïde ordinaire ;
- Suspension des particules siliceuses.

Le mode d'action des agents de viscosité se fait par adsorption des molécules d'eau sur les longues chaînes du polymère induisant un gonflement du polymère qui augmente la viscosité de l'eau et par conséquent celle de la pâte de ciment. En général les agents de viscosité utilisés sont des polysaccharides hydrosolubles **[52]**. Khayat et al. **[52]** ont fixé 3 catégories générales pour les agents de viscosité ;

Les polymères ordinaires, semi-synthétiques et synthétiques. Les agents de viscosité possèdent un rôle très important pour maintenir la stabilité des mélanges cimentaires. Ils assurent une cohésion entre les différentes phases d'un mélange, augmentant ainsi la résistance à la ségrégation des mélanges, et empêchent les mouvements libres d'eau, réduisant le ressuage. Au niveau rhéologique, ils agissent en augmentant à la fois le seuil de cisaillement et la viscosité des mélanges **[52]** ;

Les agents de viscosité peuvent avoir une seconde fonction, le retard de prise, ainsi que l'entraînement d'une certaine quantité d'air, entraînant des conséquences sur la résistance mécanique du béton. Les effets secondaires sont fonction du type et du dosage de l'agent de viscosité utilisé.

I.3.5 Propriétés d'un BAP à l'état frais

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage). Les principales propriétés recherchées sur béton frais sont l'auto compaction, la fluidité, la viscosité et la stabilité envers la ségrégation. La formulation du BAP repose sur les mêmes bases technologiques que celles d'un béton vibré. Dans le cas du béton vibré, il s'agit de remplir les vides entre les granulats avec la pâte de ciment composée de ciment, d'additions et d'eau, afin d'obtenir un béton offrant les qualités requises (ouvrabilité et compacité). Par contre dans le cas du BAP, la pâte de ciment doit non seulement remplir les vides inters granulaires, mais il faut en plus prévoir un volume excédentaire d'environ 65 à 100 l /m^3.

- Dans le cas d'un mélange constitué exclusivement de granulats concassés, cette valeur peut même s'élever jusqu'à 100 à 120 l/m3 ;
- Cet excédent constitue une condition indispensable aux propriétés de fluidité exceptionnelles des BAP. Étant donné que le volume des vides du mélange varie en fonction de la nature et de la provenance des granulats, ceci peut entraîner des adaptations et des modifications de la composition d'un BAP dans chaque cas particulier ;

Les guides Européens pour le BAP **[33]**, répartissent les BAP à l'état frais en quatre (04) propriétés essentielles suivantes, et propose des essais à réaliser pour chacune d'elles.

A. Capacité au remplissage

La capacité au remplissage du béton est définie comme l'habilité du béton à entreprendre un changement dans sa forme sous l'effet de son poids propre **[37]**, même dans le cas de présence d'obstacles qui peuvent interférer avec son écoulement. Cette capacité au remplissage peut être déterminée à l'aide de deux dispositifs, le cône d'Abrams et l'Orimet (Tableau I.4).

Tableau I.4 : Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage.

Propriété	Essais à réaliser
Capacité au Remplissage	• Etalement au Cône d'Abrams (Slump-Flow) • Temps à T_{50} au cône d'Abrams (T_{50} Slump-Flow) • Temps d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel) • Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test) • Etalement au Tube Orimet (Orimet) • Essai du caisson (Fill Box)

B. Capacité de passage

La capacité de passage décrit la capacité du mélange de béton frais à l'étalement à travers des espaces confinés sans ségrégation, sans perte d'uniformisation et sans blocage. En définissant la capacité de passage, il est nécessaire de considérer, la géométrie et la densité du ferraillage, la capacité de remplissage du mélange ainsi que la dimension maximale du granulat ;

La dimension à définir est l'espacement entre les bars, cet espacement doit permettre l'écoulement normal du béton. L'espacement entre la barre de ferraillage et le coffrage n'est pas à considérer car le béton peut contourner la barre et n'aura pas besoin de s'étaler continuellement à travers cet espace. La capacité de passage peut être déterminée à l'aide de trois dispositifs, le cône d'Abrams en présence du J-Ring, la boîte en L (L-Box) et la boîte en U (U-Box) (Tableau I.5).

Tableau I.5: Essais permettant la détermination de la capacité de passage.

Propriété	Essais à réaliser
Capacité au passage	• Etalement au cône d'Abrams en présence • Temps à T50au cône d'Abrams en présence du J-Ring • Différence d'Hauteurs au J-Ring • Essai de la Boite en L (L-Box test) – Mesure • de H2/H1 • Essai de la boite en U (U-Box test)

C. Résistance à la ségrégation

La résistance à la ségrégation est fondamentale pour l'homogénéité et la qualité sur site du béton autoplaçant. Le BAP peut souffrir de la ségrégation durant la mise en place et après mais avant son durcissement. La ségrégation qui se produit après la mise en place est le plus défavorable surtout pour les longs éléments et même pour les éléments minces comme les dalles, ce qui peut mener vers des dégradations de surface comme sa fissuration ;

La résistance à la ségrégation devient un paramètre important dans le cas de classe élevée de fluidité ou de faible viscosité, ou bien dans le cas où les conditions de mise en place encouragent la ségrégation. Si aucun de ces cas ne se présente, il n'est généralement pas nécessaire de spécifier la classe de la résistance à la ségrégation. L'essai de la résistance à la ségrégation des BAP est l'essai au tamis de 5 mm.

I.3.6 Particularité de composition des BAP

Le comportement et les propriétés d'un béton autoplaçant à l'état frais dépendent étroitement de ses caractéristiques rhéologiques. L'expérience de ces dernières années a permis de rassembler des informations suffisantes pour cerner les valeurs limites de certains paramètres

déterminants pour l'obtention d'un BAP. A cet égard, il convient de ne pas oublier que l'ouvrabilité et les propriétés d'un béton à l'état frais sont cal.culées en fonction du temps et qu'elles évoluent rapidement. Ainsi, lors d'essais préliminaires pour la production du BAP en centrale de béton prêt à l'emploi on veillera à ce que les performances d'ouvrabilité requises soient assurées à l'arrivée du béton sur le chantier, pour cela les points suivants sont des facteurs clés pour avoir un bon BAP à l'état frais.

1-3-6-1 Type de ciment

L'influence du ciment sur l'ouvrabilité dépend de sa composition minéralogique, de sa finesse de mouture et des adjuvants avec lesquels il est utilisé simultanément. Le type de ciment affecte surtout la rhéologie initiale du mélange de béton. La composition du ciment, par exemple la teneur en C_3A qui réagit très rapidement, va déterminer la rhéologie du mélange **[38]**. Beaupré et Mindess **[39]** ont effectué des essais avec trois types de ciment. Quand tous les autres paramètres sont constants, un mélange fabriqué avec du ciment type 50 (classe 52,5 norme européenne) montre le plus faible seuil de cisaillement, un mélange fait avec du ciment type 30 (classe 32,5 norme européenne) avec fumée de silice montre le plus grand seuil de cisaillement et un mélange fait avec du ciment type 30 présente un seuil de cisaillement entre les deux précédents. La viscosité plastique demeure constante en général **[39]**.

1-3-6-2 Dosage en eau

Le dosage en eau peut être utilisé comme grandeur de référence de la même manière que pour un béton conventionnel vibré. Si le béton autoplaçant est trop fluide (viscosité Trop faible, ouvrabilité trop élevée) et présente une forte tendance à la ségrégation, on pourra réduire la quantité d'eau dans la pâte de ciment. Si nécessaire, l'ouvrabilité du béton pourra être adaptée en augmentant le dosage en adjuvant fluidifiant;

Très récemment Hwang et Khayat **[40]** ont trouvé qu'une composition de BAP a une considérable influence sur l'apparition des fissures. Ainsi une composition à E/C = 0,42 prend 26 à 37% plus de temps avant l'apparition des fissures qu'une composition à E/C = 0,35 en utilisant le même superplastifiant. Par contre la première composition montre un plus grand retrait plastique que la deuxième, d'après les auteurs ceci est dû au fait que la composition à E/C = 0,42 a un plus grand volume de pâte et moins de gros granulats (en volume).

1-3-6-3 Excédent de pâte de ciment

Un excédent de pâte de ciment dépassant 90 l/m^3 peut s'avérer nécessaire en cas de faible valeur du rapport E/C ou d'une proportion élevée de granulats concassés. L'étanchéité et la résistance à la compression d'un tel béton s'en trouveront améliorées. Si le volume excédentaire de pâte de ciment est nettement inférieur à 90 l/m^3, on doit s'attendre à un étalement plus faible, ainsi qu'à une tendance accrue à l'apparition de blocages au droit des barres d'armatures, de nids de gravier et de bullage sur les parements.

1-3-6-4 Quantité de fines (<80μm)

Pour assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les BAP doivent contenir une quantité de fines (de l'ordre de 500 kg/m^3) supérieure à celle des bétons ordinaires. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation, le liant est souvent un composé binaire voire ternaire;
L'ajout de fumée de silice augmente le seuil de cisaillement à partir d'une teneur de 7%. A un dosage inférieur à 7% en fumée de silice, un effet négligeable a été observé **[40]**. Aussi, si la teneur en ciment est faible, l'augmentation du seuil de cisaillement se fait moins sentir. Le comportement des bétons renforcés de fibres est Binghamien, lorsque la quantité de fibres augmente, la viscosité plastique et le seuil de cisaillement augmentent aussi. Lorsque la longueur des fibres augmente, seul le seuil de cisaillement augmente.

1-3-6-5 Choix et dosage des Adjuvants

Les superplastifiants sont généralement utilisés pour des bétons à faible rapport E/C. Généralement, on observe une diminution du seuil de cisaillement avec 1'augmentation de la concentration en superplastifiant al.ors que la viscosité plastique ne change pratiquement pas **[41]**. Un autre effet des superplastifiants est la perte rapide de l'affaissement dans le temps. Un béton non superplastifié sera relativement stable dans le temps quant à ses propriétés rhéologiques al.ors qu'un béton superplastifié peut montrer une prise beaucoup plus rapide ou une prise anormalement retardée à de très hautes concentrations en superplastifiant **[42]** ;

L'efficacité d'un adjuvant peut être plus ou moins prononcée selon le ciment et les additions utilisés (compatibilité). De plus, un dosage élevé en adjuvant retarde généralement le début de prise. L'utilisation d'un adjuvant stabilisateur permet de réduire le risque de ségrégation du

BAP (ressuage, granulats grossiers coulant vers le bas), qui devient ainsi plus stable et moins sensible aux variations du rapport E/C. Dans chaque cas, il convient donc de sélectionner les adjuvants les mieux appropriés à un ciment donné au moyen d'essais préliminaires. Sinon, il faut s'attendre à devoir recourir à des dosages élevés en adjuvants, voire à l'apparition d'un raidissement prononcé avec perte des performances recherchées du BAP **[43]**.

1-3-6-6 Granulats

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 zones confinées, 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. Bien évidemment ce rapport peut être revu à la hausse si le confinement est faible, ou à la baisse dans le cas contraire. Comme mentionné précédemment, le diamètre maximal D_{max} des gravillons doit rester en dessous de 20 mm pour minimiser le risque de blocage ;

D'autre part le sable est un facteur important pour la fabrication du BAP vu qu'il a une influence déterminante sur ses propriétés à l'état frais. Si la proportion de sable augmente par rapport au gravier, la demande en eau et le rapport E/C augmentent, tandis que la viscosité diminue. Et inversement en cas de diminution de la proportion de sable. Le sable présente une demande en eau réduite lorsque sa teneur en fines est faible **[43]**.

I.3.7 Propriétés mécaniques d'un BAP à l'état durci

Les particularités de composition des bétons autoplaçant conduisent à étudier les différentes propriétés mécaniques de ces bétons et plus particulièrement les déformations instantanées et différées, supposées différentes de celles des bétons vibrés. Lors de son étude d'évaluation du retrait, fluage et module d'élasticité des BAP, Persson **[44]** n'a conclu que les valeurs de ces trois paramètres coïncidents bien avec celles du béton vibré quand la résistance reste constante.

I-3.7.1 Résistances mécaniques

Les résistances mécaniques ont été longtemps considérées comme les qualités essentielles pour un béton tout comme le BAP car elles offrent généralement une image globale de la qualité d'un béton puisqu'elles sont directement reliées à la structure de la pâte de ciment hydraté. C'est la meilleure optimisation qui nous permet d'avoir un meilleur BAP avec des résistances qui peuvent aller de 60 à 100 MP à 28 jours ;

L'évolution des résistances à la compression des BAP semble être voisine aux bétons ordinaires. Aux très jeunes âges, les résistances des BAP peuvent être affectées lorsque ces bétons contiennent des quantités importantes de superplastifiants car un dosage trop élevé pouvant conduire à un retard de prise considérable, ainsi qu'il est possible d'atteindre des résistances mécaniques élevées au démoulage en optimisant le choix et le dosage en adjuvant. En fonction des propriétés pouzzolanique des additions, les résistances mécaniques des BAP peuvent continuer à croître au-delà de 28 jours ;

L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges **[50]**. Les particules fines d'un filler, lorsqu'elles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite ;
Différentes données ont été publiées **[51 ,52]** sur l'évolution de la résistance mécanique des BAP contenant des fillers calcaires comparée à celle des bétons vibrés soutiennent les affirmations précédentes (Figure I.12).

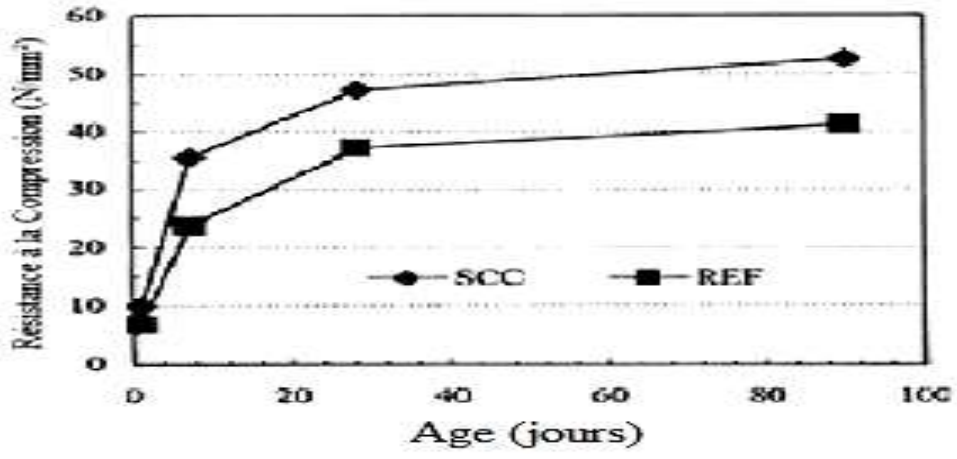


Figure I.12 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) correspondant **[51].**

De plus, certains auteurs **[53]** affirment que cette augmentation de résistance est d'autant plus marquée pour les BAP que la finesse du filler (exprimée en valeur Blaine) est grande ;
L'introduction d'un agent de viscosité peut diminuer sensiblement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges **[54]**. De même, certains superplastifiants utilisés pour contrôler la fluidité des formulations ont pour effets secondaires de retarder le temps de prise et d'augmenter le développement de la résistance mécanique. Etant donné la défloculation du liant hydraulique qu'ils engendrent, leur dosage important dans les BAP conduit à considérer que ceux-ci seront plus résistants que des bétons vibrés supposés similaires au départ ;
Selon Klug et Holchemacher **[56]**, les résistances mécaniques des BAP et des bétons vibrés sont similaires sous des conditions comparables, mais les BAP montrent des résistances plus élevées pour un même rapport Eau/Ciment.

A. Résistance à la compression

Un béton Autoplaçant avec un rapport E/L similaire, aura généralement une résistance légèrement plus élevée en comparaison à celle du béton ordinaire à cause du manque de vibration donnant une meilleure interface entre les agrégats et la pâte durcie **[54]**.

B. Résistance à la traction

Pour une résistance à la compression donnée d'un BAP, la résistance à la traction peut être assumée à être la même que celle d'un béton ordinaire comme le volume de pâte (ciment + fines + eau) n'a aucun effet significatif sur la résistance à la traction **[33]** ;

Selon Klug **[55]** la résistance à la traction des BAP est nettement supérieure à celle des bétons vibrés, elle peut aller jusqu'à 40% ce qui implique qu'il y a nécessité de revoir la section minimale de ferraillage ;

Selon Guneyisi et Gesoglu **[56]** la variation de la résistance à la traction d'un béton contenant du laitier est similaire à celle d'un béton sans laitier. En général la résistance à la traction est en baisse avec l'augmentation de la quantité de laitier dans le mélange, exception est faite pour les dosages en laitier à 50 et 60% dans le cas de 90 jours de cure dans l'eau ;
Dans leur article sur les BAP légers à haute résistance, Choi et al. **[57]** ont trouvé une relation entre la résistance à la compression et la résistance à la traction comparable à celle donnée par les règlements de Béton Armé. La relation proposée est :

$$f_s = 0.076 f_{ck} + 0.5582$$

I-3.7.2 Retrait

Plusieurs travaux ont comparé le retrait plastique du BAP et celui du béton vibré Gram et Piparinen **[58]**, ont observé des retraits plastiques deux à trois fois plus grands pour les BAP que pour les bétons ordinaires (Figure I.13);

Pour Turcry l'amplitude maximale du retrait plastique des BAP est environ cinq fois supérieure à celle des bétons ordinaires (Figure I.14);

Ces différences semblent pouvoir s'expliquer par deux paramètres de formulation qui changent d'un type de béton à l'autre : un rapport eau/fines (E/F) plus faible pour les BAP et un dosage en superplastifiant des BAP plus fort qui retarde leur prise. Par conséquent, pour minimiser ce retrait plastique, il est préférable de choisir une addition dont la demande en eau est faible afin de limiter le dosage en superplastifiant. Selon Song et al. **[59]**, le laitier remplit bien cette condition.

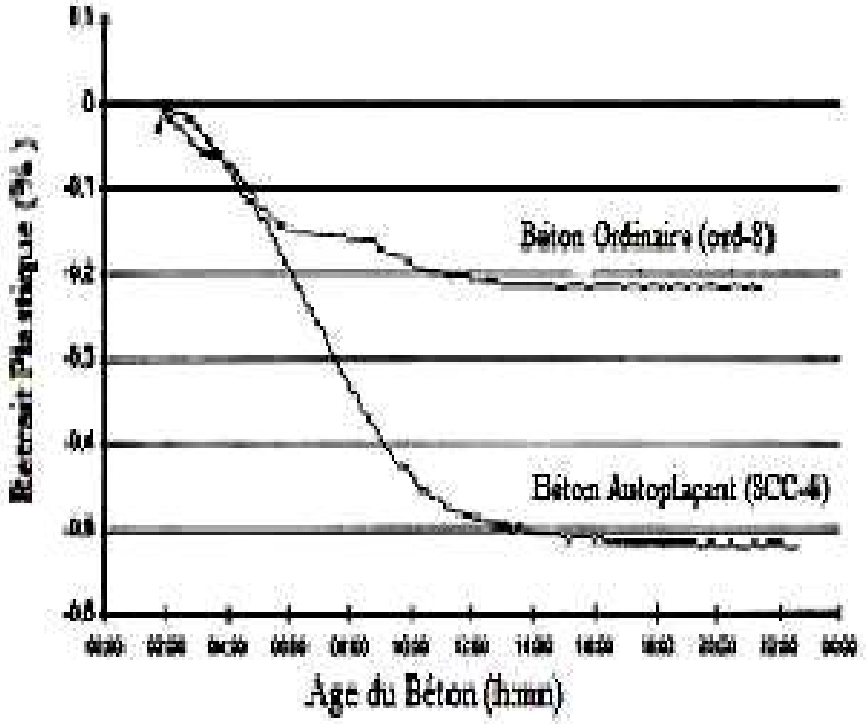


Figure I.13 : Retrait plastique de BAP et de béton ordinaire **[58].**

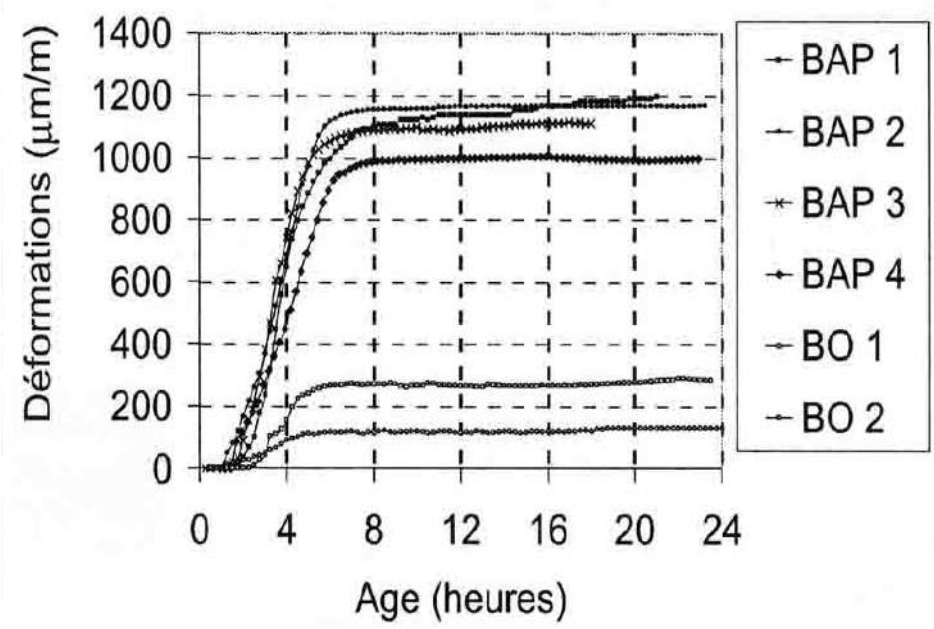


Figure I.14 : Amplitudes maximales des BAP et Bétons ordinaires **[60].**

En ce qui concerne le retrait endogène qui est dû à l'hydratation, les BAP présentent des déformations comparables à celles des bétons vibrés **[61]**. En effet, même si certains auteurs, Hu et Barbieri **[62]** attribuent aux BAP un retrait endogène inférieur ou égal à celui des bétons vibrés, d'autres auteurs tels que Vieira et Bettencourt **[63]** et Pons et al. **[64]** contestent cette tendance et soutiennent l'idée de comportements différés équivalents pour les deux types de béton. D'autre part, Lee et al. **[65]** mentionnent que le retrait endogène est plus important dans les BAP que dans les bétons ordinaires, en raison du retrait chimique élevé ainsi qu'aux fines pores dans les bétons au laitier ;

L'évolution des réactions d'hydratation, à l'origine du retrait endogène, dépend de la quantité d'eau disponible dans le béton pour faire réagir les différents réactifs. Par conséquent, l'amplitude de ce retrait chimique est directement liée au rapport E/C (autrement dit à la résistance mécanique). Le retrait endogène d'un béton est d'autant plus important que son rapport E/C est faible (ou sa résistance en compression élevée). Ce phénomène existe pour tout type de béton, en particulier les BAP qui ne se distinguent pas des bétons vibrés sur ce point. De plus, pour des bétons à faible rapport E/C, le retrait endogène des BAP est comparable à celui des bétons vibrés **[65]** ;

Les résultats disponibles de la littérature sur le retrait de dessiccation des BAP sont très contradictoires. Certains auteurs **[62]** trouvent des déformations pour ces bétons plus

importantes que celles mesurées sur des bétons vibrés. Ce retrait apparaît être d'autant plus faible que le rapport G/S des BAP est élevé. D'autres auteurs annoncent des retraits équivalents pour les deux types de béton à résistance mécanique constante **[44]**. D'après ces données, l'ordre de grandeur du retrait de dessiccation des BAP varie de 550 à 700 (µm/m) (à 180 jours) ;

Sonebi et Bartos **[52]** ont observé des retraits de séchage des BAP moins importants (Figure 1.15) que ceux des bétons vibrés (quantité de ciment et rapport E/C équivalents, volume de pâte différent). L'augmentation du volume de pâte pour une même quantité d'eau et la diminution du rapport E/L conduit à diminuer le retrait de séchage **[66]** ;

Le filler calcaire peut avoir un effet positif en limitant le retrait de séchage des BAP, s'il est utilisé avec une finesse et une proportion adéquates **[67]**. Cependant, la prépondérance de cet effet n'est pas toujours affirmée.

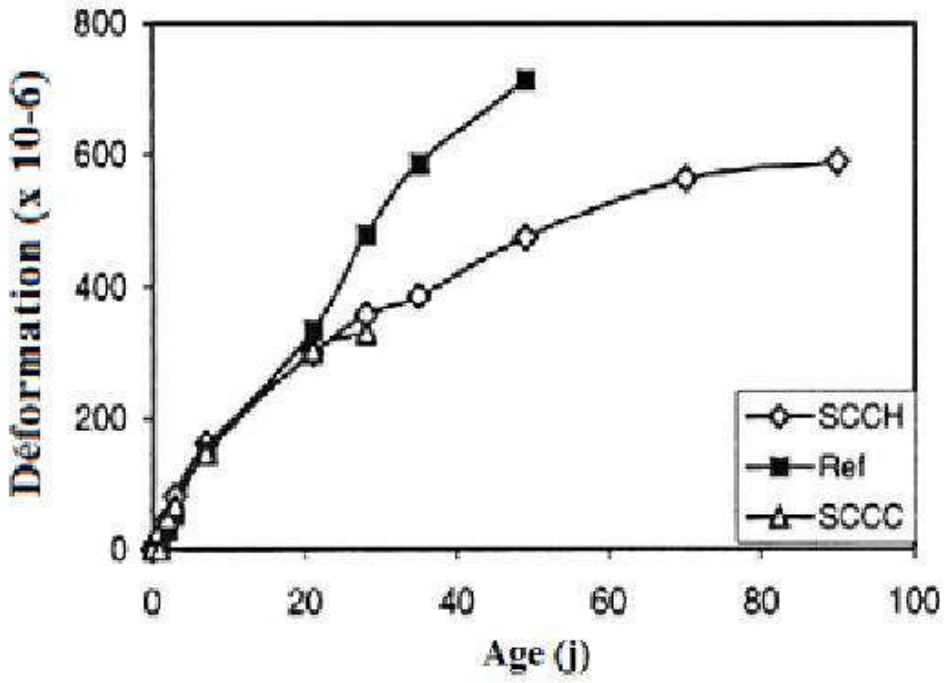


Figure I.15: Retrait de séchage de deux BAP et du béton vibré correspondant **[52]**.

I-3.7.3 Adhérence avec le ferraillage

Le béton armé est basé sur une adhérence effective entre le béton et les armatures. L'efficacité de l'adhérence est affectée par la position des bars et la qualité du béton. Un enrobage adéquat est nécessaire pour transférer proprement les contraintes d'adhérence entre l'acier et le béton. Une mauvaise adhérence est généralement le résultat de l'échec du béton à bien enrober l'acier durant la mise en place ou du ressuage et ségrégation du béton avant son durcissement. La fluidité et la cohésion du béton autoplaçant minimisent ces effets négatifs ;

Sonebi et Bartos **[52]** ont trouvé que la contrainte d'adhérence dans un BAP est entre 16 et 40% plus élevée que dans un béton ordinaire. Mieux encore, Chan et al. **[68]** ont trouvé que, sans vibration, la contrainte d'adhérence dans un BAP est double á celle dans un béton ordinaire, et elle est meilleure que celle dans un béton à haute performance même vibré.
Récemment Valcuende et Parra **[69]** ont confirmé cependant le meilleur comportement du BAP en adhérence que le béton ordinaire, Domone **[60]** a trouvé que la contrainte d'adhérence des BAP est très similaire à celle des bétons ordinaires.

I-3.7.4 Résistance au feu

Le béton n'est pas combustible et ne supporte pas l'étalement des flammes. Il ne produit pas de fumée, de gaz toxiques ni d'émissions quand il est exposé au feu. Le béton a un faible seuil de transfert de chaleur et retient la majorité de sa résistance. D'après le rapport de RILEM en 2008 sur la durabilité des BAP **[70]**, la résistance au feu des bétons autoplaçant est similaire à celle des bétons ordinaires. A cause de la faible perméabilité du BAP la résistance au feu peut être considérable. Selon Persson **[71]**, l'utilisation des fibres polypropylène a été très bénéfique aux BAP car ils contiennent des pores qui permettent l'emprisonnement des fumées.

I-3.7.5 Corrosion des armatures

Cheng et al. **[72]** ont effectué des essais sur la corrosion des armatures dans des mélanges de béton contenant du laitier et ils ont trouvé que ce dernier diminue les pores dans le mélange, produit un mélange dense, diminue les risques de fissuration et par conséquent réduit le risque de corrosion dans les armatures. Selon Palet al. **[73]** l'augmentation de la teneur en laitier dans le béton diminue la quantité de corrosion dans ce dernier. Yeau et Kim **[74]** ont trouvé aussi qu'une grande résistance à la corrosion peut être atteinte avec une grande teneur en

laitier. Selon Hou et al. **[75]** l'introduction du laitier dans le mélange de béton assure une faible perméabilité ce qui assure une forte résistance à la corrosion des armatures.

Très récemment Hassan et al. **[76]** ont trouvé qu'en coulant une poutre armée en béton autoplaçant et une autre en béton ordinaire, à échelle réelle, la résistance à la corrosion a été plus élevée dans le cas du BAP que pour le béton ordinaire. Par contre la propagation des fissures a été plus facile et plus étendue dans le cas du BAP. La poutre coulée en BAP a montré une dégradation de l'enrobage, probablement dû au faible volume de gros granulats dans le mélange en BAP. Il a été constaté aussi une certaine non-uniformité du BAP le long de la poutre tout en s'éloignant de l'extrémité où le coulage est réalisé et par conséquent ils ont proposé que le point de coulage soit mobile le long de la poutre.

I.4. Conclusion

L'étude bibliographique a été menée pour faire le point sur les connaissances relatives aux caractéristiques des bétons autoplaçant à l'état frais et durci ainsi une réflexion sur les déchets et sont recyclage en général et les sédiments des barrages (vase) en particulier sont soulignés en parallèle ;

Les BAP constituent une véritable alternative au béton traditionnel. Cependant, leur formulation et le contrôle de leurs propriétés lors de la mise en œuvre nécessitent une attention particulière. Les BAP se composent d'un grand volume de pâte riche en fines associé à une faible proportion de granulats dont la fluidité est améliorée par l'utilisation de superplastifiants et éventuellement d'agent de viscosité ;

A l'état durci, les propriétés mécaniques et physico-chimiques sont influencées par la composition. Du point de vue mécanique, l'emploi d'additions minéral.es améliorant la résistance au jeune âge. A long terme, le comportement mécanique peut être comparé aux bétons vibrés. Mais, dans certains cas, le volume de pâte élevé peut avoir un effet réel mais limité sur le comportement mécanique entraînant soit une augmentation, soit une diminution de ces propriétés. ;

Une réflexion a été menée sur les sédiments des barrages et la possibilité de les valoriser dans la formulation des matériaux cimentaires. Les travaux concernant l'effet de la vase des barrages sur les propriétés mécaniques et la durabilité des BAP sont peu nombreux. Généralement les études se focalisent sur l'effet de cette matière (la vase) dans les domaines routiers et agriculture, ce qui signifie clairement qu'un besoin en recherche est nécessaire dans l'étude de l'influence de cette vase sur les propriétés physiques, mécaniques et durabilité des BAP. ;

C'est dans cette optique que notre travail a été orienté, pour cela, nous avons lancé une étude expérimentale afin de quantifier les modifications apportées, sur les propriétés d'un mortier autoplaçant incorporant de la vase du barrage d'El Adrat à EL OMARIA ;

Pour ce faire le chapitre qui suit est consacré à la caractérisation des matériaux d'étude et à l'exposé des méthodes expérimentales que nous avons utilisées pour faire aboutir notre travail.

CHAPITRE 02:
Matériaux
et
essais

II.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés et les techniques expérimentales réalisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux utilisés dans la composition de nos mortiers autoplaçant, à savoir : le ciment, le sable, la vase, l'adjuvant et l'eau de gâchage. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des mortiers autoplaçant. Nous présenterons par la suite les différents essais réalisés au cours de notre étude et leurs modes opératoires (état frais et durci).

Les différents essais effectuent au laboratoire de Génie Civil de l'université de Médéa et celui de la SETAM de Médéa.

II.2. Matériaux utilisés

II.2.1. Ciment

Un seul type de ciment utilisé au cours de cette étude expérimentale. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42.5, produit par la cimenterie LAFARGE (MATINE) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme [NA 442]**[77].**

II.2.1.1.Définition

MATINE est ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (Cao) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide.

On trouve également L'aluminium (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Ils sont rendus aptes à réagir eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises 1300 °C et 1500°C.

En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la normeNA442 **[77]** EN 197-1 **[78]**et à la norme NF P 15-301 **[79]**

II.2.1.2.Domaine d'utilisation

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne

sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sols ou de l'eau, ainsi que dans les dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logement et autre constructions civiles) ;
- Secteur des travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport ….etc.) ;
- Secteur hydrauliques (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration ,station de dessalement ……etc.) ;
- Secteur industriel.

A. Analyse et caractérisation

- **Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker**

Le tableau II.1 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment **(Annexe A).**

Tableau II.1 : l'Analyse chimique du ciment et composition du clincker.

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO_3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique du clincker	Silicates tricalciques C_3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C_3A (%)	6.00-8.00

- **Essais physiques**

- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine d'après la norme [NF P 15-476**][80].**

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat d'après la norme [NF P 15-431]**[81].**

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique d'après la norme [NF P 15-473] **[82]**. Le tableau II.2 résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau II.2 : Essai physiques sur ciment.

Essais	**Norme**
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25.50-28.00
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 1000
Expansion (mm)	0.50 – 2.50
Début de prise (min)	120 – 180
Fin de prise (min)	210-280

- **Essais mécaniques sur le ciment**

Selon la fiche technique les essais mécaniques sur le ciment ont été effectués conformément à la norme [NF P 15-471] **[83]** sur des éprouvettes prismatiques 40x40x160 mm^3 à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé: 450 g de ciment, 1350 g de sable ordinaire et 225 g d'eau. Les résultats obtenus par cet essai sont acceptables pour la confection d'un béton et sont résumés dans le tableau II.3.

Tableau II.3 : Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge .

Ages (jours)	**Résistance à la compression (MPa)**
2	>20
28	≥ 42.5 et 62.5



Figure II.1 : Le ciment utilisé.

II.2.2.Le sable

Le sable utilisé est un sable de dune provient de la région de Oued-Souf. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie (figure II.2). Il est séché pondant 24h à température de 105 °C. Les caractéristiques physiques de ce sable son données ci-après et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure II.2.



Figure II.2 : sable utilisé

- **Caractéristiques du sable :**

- Masse volumique absolue **:** 2 .63 g/cm3.
- Equivalent de sable : 74.5 %.
- Module de finesse MF : 2.4.
- Taux d'absorption : 1.2 %.

II.2.3.L'eau de gâchage

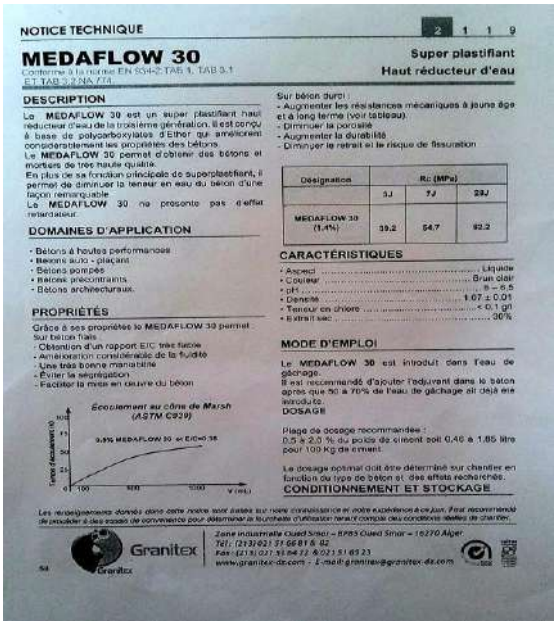
L'eau de gâchage utilisée pour la confection de béton est une eau potable de distribution, exempte d'impuretés, conforme à la norme [NFP 18-303] **[84]**.



Figure II. 3 :L'eau de gâchage utilisé.

II.2.4. Super plastifiant

La figure suivante représente la notice technique de super plastifiant utilisé.


NOTICE TECHNIQUE

MEDAFLOW 30

Super plastifiant
Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet retardateur.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons archtecturaux.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :
Sur béton frais
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en oeuvre du béton

Écoulement au cône de Marsh (ASTM C939)

Sur béton durci :
- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau)
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1,4%)	39,2	54,7	62,2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 5 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 gr/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOI

Le MEDAFLOW 30 est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

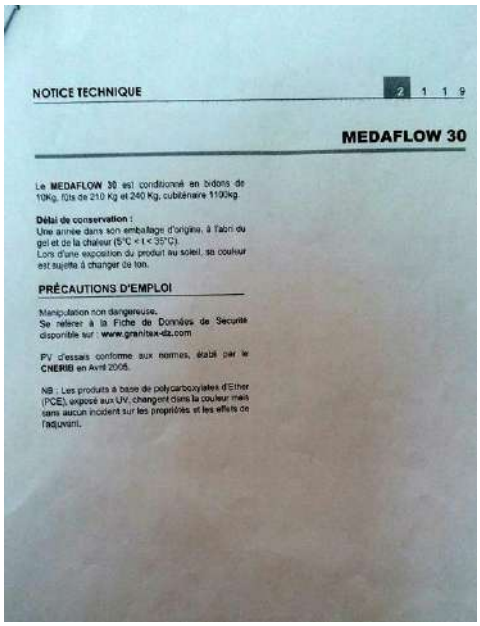
Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,40 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Granitex

Zone industrielle Oued Smar – 8083 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 68 81 & 82
Fax : (213) 021 51 84 72 & 021 51 83 23
www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com


NOTICE TECHNIQUE

MEDAFLOW 30

Le MEDAFLOW 30 est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubitainaire 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se referer à la Fiche de Données de Securité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

Figure II.4 : notice technique

II.2.5. Déchets

Comme nous avons vue dans le chapitre précédant qu'il existe plusieurs ajouts introduits comme substituant dans le mortier autoplaçant. Dans ce travail on a utilisé un déchet :

- **déchet de vase**

Ce déchet est obtenue du barrage LADRATE d'el OMARIA de la région de MEDEA pour cette étude on a utilisé la vase comme substitution du ciment **(figures II.5. II.6).**

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-5 mm. Après, les déchets sont subis un broyage par un broyeur à disque pour les transforme en poudre fine, des finesses voisines a celle du ciment utilise (3800cm^2/g)



Figure II.5.vase récupéré



Figure II.6.poudre de vase recyclé

- **Essais sur le déchet recyclé (vase)**

Les essais effectués sur notre déchet sont résumé dans le Tableau II.4

Tableau II.4 : Essais effectués sur le déchet

Caractéristique	Déchet de vase cuite	Norme
Masse volumique absolue (g /cm3)	**2,557**	**NF EN 196-6 [90]**
Finesse de mouture (surface sphérique de blaine)(cm2 /g)	**3500**	**NF EN 1097-6[91]**

II.3. Equipement nécessaire

L'ensemble est décrit de manière détaillée par la norme [EN 196-1] **[85]** :

- Une salle maintenue à une température de 20 °C ± °C et à une humidité relative supérieure ou égale à 50 % ;
- Un bac d'eau pour la conservation des éprouvettes maintenue à une température de 22 °C ± 2 °C et à une humidité relative supérieure à 90 % ;
- Une étuve maintenue à une température de 35 °C ± 5 °C et à une humidité relative inférieure à 18.5 % ;
- Un four destiné pour les températures élevées ;
- Un malaxeur à mortier normalisé avec une cuve de 5 L et pale de malaxage en inox;
- Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée (40x40x 160)mm;
- Balances pour la mesure des petites et grandes quantités ;
- Tamiseuse électrique ;
- Les tamis de différentes mailles en inox ;
- Agitatrice ;
- Cône de sable, pour la mesure de la masse volumique apparente du sable ;
- Eprouvettes et béchers en verre et en plastique graduées ;
- Spatules flexibles en acier inox ;
- Pinceaux .

II.4.essais effectués sur les matériaux

a- Masses volumiques

Les masses volumiques apparentes et absolues des différents sables utilisés ont été déterminées selon la norme [NA 451] **[86].**

- Masse volumique apparente

Cet essai consiste à remplir un récipient de volume 1L par le matériau, ensuite on mesure la masse de ce dernier et on applique l'équation suivante on obtient la masse volumique apparente (ρ_{app})**[87].**

$$\rho_{app} = M / 1 \ (kg/m^3) \qquad (équ.\ II.1)$$

- Masse volumique absolue

Cet essai consiste à mettre dans une éprouvette un volume d'eau de 200 ml puis on verse 100 g du matériau dedans et par le biais de l'équation suivante on calcul la masse volumique absolue **[87].**

$$\boldsymbol{\rho_{abs}} = M / V_2\text{-}V_1 \ (kg/\ m^3) \quad (équ.\ II.2)$$

À la fin, on peut tirer les indices suivants: (porosité, compacité, indice des vides).

$$C = \rho_{app} / \rho_{abs} \ ; \quad P = 1\text{-}C \ ; \quad I = P / C \qquad (équ.II.3)$$

Les résultats de densité trouvés sont récapitulés dans le tableau II.5 suivant :

Tableau II.5: Masses volumiques du sable utilisé.

Constituants	γ_{app} **(kg/m^3)**	γ_{abs} **(kg/m^3)**
S_{able}	1568	2600

b- Equivalent de sable

Selon la norme [NF P 18-598] **[88]**, la procédure de mesure de l'équivalent de sable est comme suit **[89]:**

- On dispose de trois éprouvettes propres pour chaque sable, puis on prendra la moyenne des trois résultats obtenus ;
- En versant une quantité de 120 g de sable, jusqu'au premier trait d'une éprouvette normalisée contenant une solution lavante, et on laisse à reposer 10 minutes.

- On bouche les éprouvettes et on les agite d'une manière automatique à l'aide d'une machine agitatrice pendant 30 secondes ;
- On lave et on remplit les éprouvettes par la solution lavante jusqu'au trait supérieur, et les laisse à reposer 20 minutes en évitant toute vibration ;
- On lit les hauteurs h_1 et h_2 puis à l'aide d'un piston on mesure h_2'.

$$ES = 100. (h2' / h1) \qquad (équ.II.4)$$

$$ESV = 100. (h2/ h1) \qquad (équ.II.5)$$

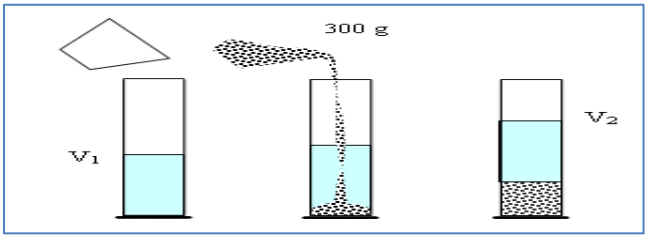


Figure II.7. Procédure de mesure de l'équivalent

Le résultat de propreté obtenu est récapitulé dans le tableau II.6.

Tableau II.6 : Equivalant de sable.

Constituants	**Propreté**
	ES (%)
Sable	91,83

C- L'analyse granulométrie

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme Algérienne NA 2607-1990 **[90]**

D- Module de finesse de sable

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros. La plasticité du mélange sera insuffisante et tendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). Celui –ci correspond à la somme de pourcentages des refus cumulés, ramenés à l'unité, pour les tamis de modules 23, 26, 29, 32, 35,38. Ce paramètre est en particulier utilise pour

Caractériser la finesse des sables à bétons. La valeur du module de finesse dépend surtout de la teneur en grains fins du sable **[90].**

Afin de tracer la courbe granulométrique de sable, ils sont soumis au tamisage et le résultat trouvé de module de finesse (MF) de sable est récapitulé dans le tableau II.7 suivant :

Tableau II.7: Analyse granulométriques du sable.

	Sable
Propriété	2,4

II.5.Formulation du mortier

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire de chaque matériaux pour le gâchée, afin d'obtenir un mortier avec des propriétés souhaitées.

Notre étude est basée sur l'influence de la vase sur l'ouvrabilité et les résistances mécaniques des MAP. Afin de déterminer les quantités des matériaux : le sable, la vase, le ciment, l'eau et l'adjuvant, nous sommes basés sur la formulation OKAMURA (La Méthode Générale) qui a été développée par Okamura et Ozawa. En ce qui concerne l'optimisation du dosage en superplastifiant avec la nature du sable utilisé, nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement de la galette et le temps d'écoulement du mortier au V- funnel à l'état frais en fonction de la variation des pourcentages de la vase (0,10,20 et 30%) de la substitution du ciment (MAPV), la teneur en superplastifiant est de 0.7 %. Nous suivons ensuite les résistances mécaniques à l'état durci des différents mortiers autoplaçant fabriqués.

II.6.Malaxage du mortier

Pour la confection du mortier, nous avons utilisé un malaxeur de 5 litres de capacité (Figure II.8). La séquence de malaxage du mortier est la suivante :

Malaxer à sec les matériaux (le sable et le ciment) pendant environ 30 secondes dans le but d'homogénéiser le mélange, âpres on ajoute la vase pendant environ 1 minute, ajouter la première quantité d'eau (E_1=70 % de la quantité totale d'eau de gâchage) et malaxer pendant une minute, ajouter par la suite la deuxième quantité d'eau (E_2= 30% de la quantité totale d'eau de gâchage) mélangée avec le superplastifiant et malaxer pendant une autre minute. En fin, malaxer le tout pendant trois minutes. La séquence du malaxage est présentée sur.



Figure II.8: malaxage du mortier.

II.7.Préparation et Conservation des Eprouvettes

La préparation des éprouvettes de mortier autoplaçant est effectuée selon une méthodologie inspirée de la norme EN196-1**[91].**Après l'opération de malaxage, les moules (40x40x160) mm^3 sont remplis, après la finition, les moules sont conservés dans les conditions du laboratoire durant 24 h, après, on effectuera l'opération de démoulage. Et On les place dans un bac de conservation à une température d'environ 20°C et à l'air libre jusqu'à l'échéance de l'essai.

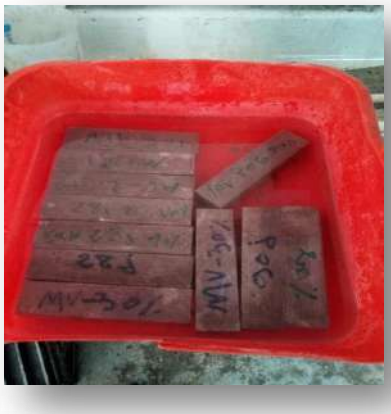


Figure II.9 : conservation des éprouvettes

II.8.Essais effectués sur mortier

II.8.1. A l'état frais

II.8.1.1. Densité

La densité du béton frais est déterminée à partir des pesées conformément à la norme (NF P 18-440) **[92]**.



Figure II.10 : Mesure de la densité du MAP à l'état frais.

II.8.1.2.Essais d'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. La figure II.11 montre le dispositif de l'essai d'étalement pour les mortiers.



Figure II.11: Essai d'étalement du mortier.

A.1. Matériel nécessaire

- Plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm d

Côté ;

- Cône disposant d'un empattement à sa partie basse afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur ;
- Mètre ou réglet de 90cm

B.2. Mode opératoire

- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon) ;
- Placer et centrer le cône sur la plaque ;
- Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône;
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées ;
- Une fois que le mortier s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires, Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.
- Détecter visuellement s'il y a des signes de ségrégation de mortier (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation du sable au centre d'une galette de mortier).

II.8.1.3.Essai d'entonnoir en V (V-funnel)

L'entonnoir est destiné à imposer un écoulement du même type que celui imposé entre deux armatures parallèles. L'entonnoir est rempli de mortier et le temps pour lequel le mortier prend pour couler à travers le dispositif est mesuré. Ce temps mesuré indique la fluidité et caractérise la capacité du mortier à se déformer à travers des zones confinées par son passage par l'ouverture du col du dispositif (Figure II.12).

B.1 Matériel nécessaire :

- Entonnoir en V (V-funnel) ;
- Chronomètre ;
- Un seau de capacité de 12 litres.

B.2 Mode opératoire

- Placer le V-funnel dans un endroit stable et s'assurer que le clapet est bien fermé ;
- Prélever dans un seau un échantillon de mortier représentatif d'environ de 12 litres ;
- Remplir l'entonnoir avec le mortier ;
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir et ouvrir le clapet ;
- Remplir l'entonnoir une deuxième fois de béton ;
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir ;
- Après une attente de 10 secondes, ouvrir le clapet en déclenchant le chronomètre ;
- Arrêter le chronomètre quand la première lumière est apparue à travers l'orifice de l'entonnoir, cette mesure est **TVF**;
- le temps d'écoulement Refaire l'essai 3 fois ;
- Le résultat est la moyenne des trois valeurs du temps d'écoulement obtenues.



Figure II.12: Essai d'entonnoir en V (V-funnel) pour mortier.

II.8.2. A l'état durci

II.8.2.1.Résistance compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1] **[91]** par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 kN (figure II.13). La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de six (06) demi-prismes des trois éprouvettes.

Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture est :

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure II.9, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2}$$



Figure II.13: Dispositif de rupture à la compression.

II.8.2.2. Essai de retrait et gonflement

En l'absence de toute charge, le mortier se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en mortier. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du mortier [**89]**.

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (40mmx40mmx160mm) conformément à la norme [NF P 18-404] **[93]**. Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 h, placées dans un réfractomètre (figure II.14) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court et moyenne terme (de 1j jusqu'à 5 semaines). La conservation des éprouvettes est faite dans l'eau à 20°C pour l'essai de gonflement et à l'air libre pour l'essai de retrait.



Figure II.14:Rétractomètre et son étalonnage.

II.8.2.3.Essai d'absorption par capillarité

Conformément à la norme [NBN NE 13057] **[94]**, dans cet essai, on prend un morceau d'éprouvette de mortier déjà utilisé puis séché. On le pèse (m_0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5 mm d'eau) (figure II.15) et pendant chaque intervalle de temps (15min, 30 min ,1 h ,2 h ,4h ,24h) on ressort les morceaux du bac et on les pèse (m_1). Le différent de poids entre m_1 et m_0 est le poids de l'eau absorbée (m_1- m_0).

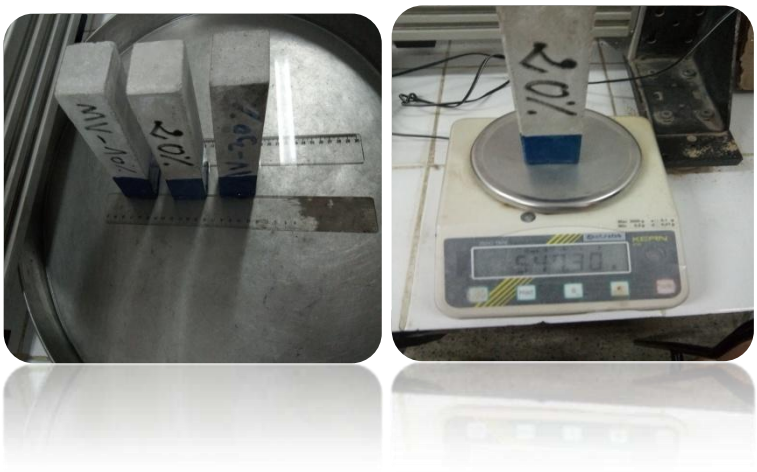


Figure II.15 : Absorption d'eau par capillarité.

CONCLUSION

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

Le nombre d'essais qui a été effectué dans le cadre de cette étude était important, Pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais (densité, essais d'étalement au mini cône, d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel). Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique et indicateur de durabilité ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer la résistance à la compression, absorption d'eau par capillarité, retrait et gonflement. Pour reconnaitre l'effet de la vase cuite sur les propriétés du mortier autoplaçant que ce soit à l'état frais ou durci.

Dans le chapitre suivant, On a exposé les résultats obtenus par les différents essais sur le mortier et ainsi suivis par d'interprétations et comparaisons avec ceux que obtenus par d'autres chercheurs dans la littérature.

chapitre 03 :

Résultats et Interprétation

III.1. Introduction

Les résultats des différents essais qu'on a faits sur le mortier frais et durci sont rassemblés ci-après et les valeurs données sont les moyennes arithmétiques de trois résultats d'essais.

III.2. Caractérisation des mortiers à l'état frais

Lors de la formulation, la caractérisation des mortiers à l'état frais est nécessaire. Cela consiste à connaître son comportement à l'état frais à partir des tests empiriques conçus spécifiquement pour évaluer le caractère autoplaçant. Évidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais, la capacité de remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation.

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant (Fig. III.1) pour obtenir un étalement constant de 28 cm et un temps d'écoulement entre 3 et 4 sec pour tous les mortiers autoplaçants comme indiquent les figures III.2. et III.3.

Les différents pourcentages du besoin en adjuvant pour les différents mortiers autoplaçants réalisés dans cette étude sont présentés sur la figure III.1 suivante.

D'après les résultats présentés sur la figure III.1, on remarque que la vase calcinée améliore la fluidité des mortiers autoplaçants. Par conséquent on remarque que le mortier à base de 10% de vase a le même dosage en superplastifiant que celui du mortier de référence. Et les mortiers renfermant 20 et 30% de vase demande moins d'adjuvant.

D'âpres les résultats d'étalement des différents MAP, qui sont présenté sur la figure III.2, et ceux du temps d'écoulement présentés sur la figure III.3, on remarque que tous les mortiers ont des valeurs d'étalement et temps d'écoulement qui s'inscrivent dans le domaine des mortiers autoplaçants ($D \approx 28$ cm et $5 < t < 6$sec). Nous pouvons conclure que les compositions choisies assurent une bonne fluidité des bétons quel que soit l'addition incorporée. Sur la figure III 4., nous présentons l'aspect visuel des différents mortiers autoplacants proposés pour l'étude.

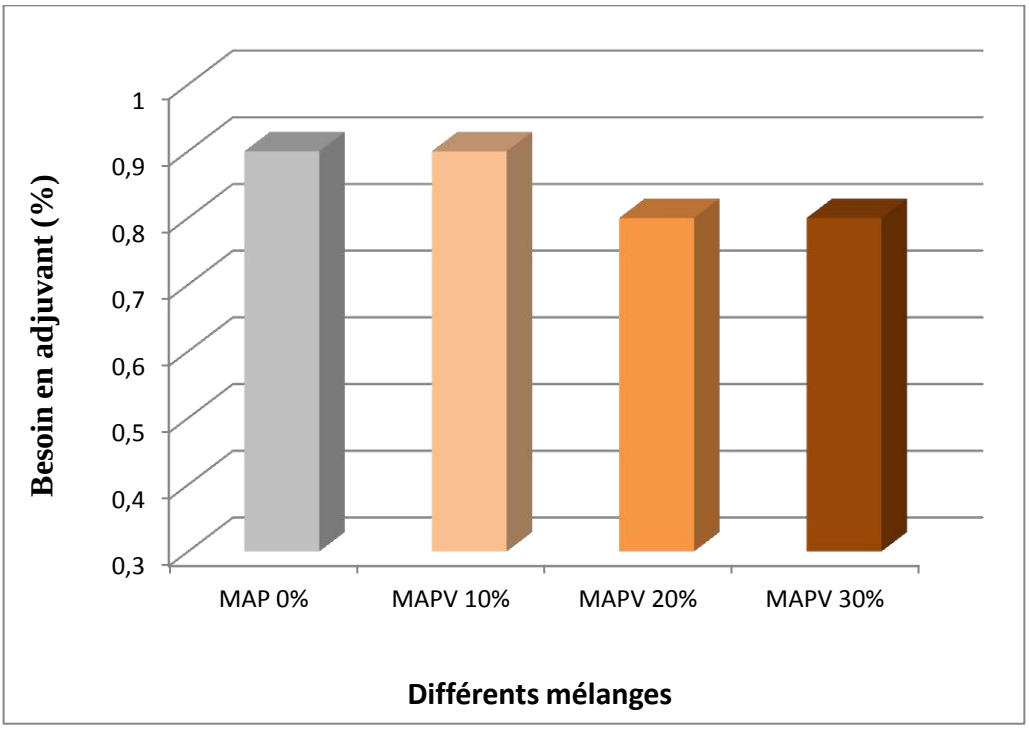


Figure III.1 : Besoin en adjuvant en % pour les différents mortiers autoplaçants étudiés.

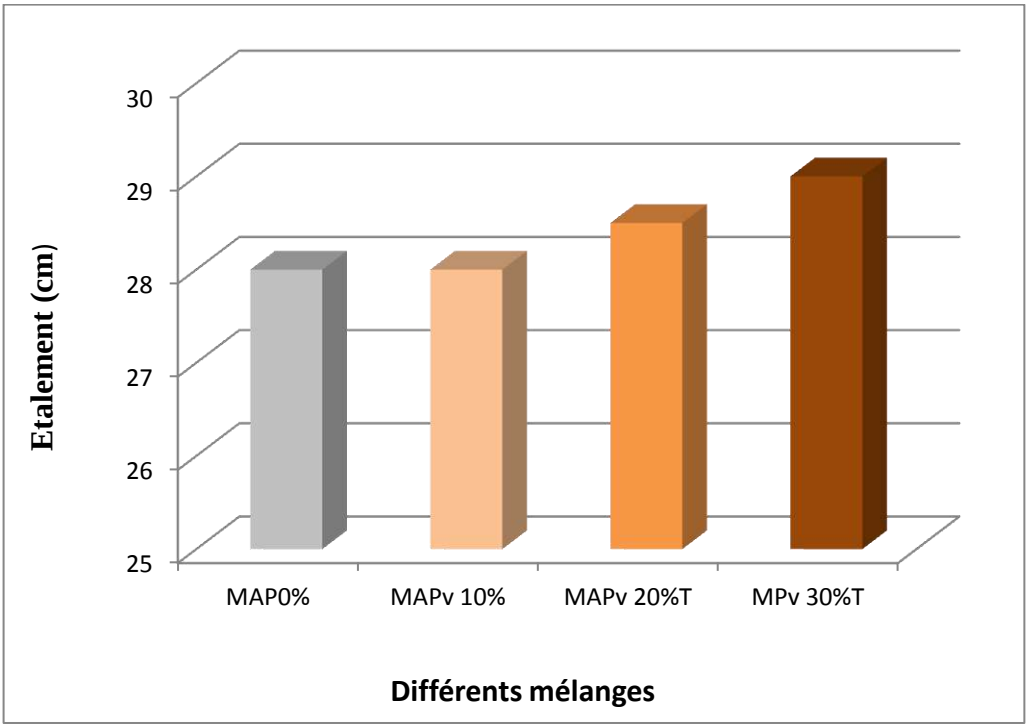


Figure III.2 : Etalement des mortiers en fonction du taux de substitution de la vase.

A travers la figure III.2, on constate que la fluidité des MAP augmente en fonction de substitution en vase. , ce résultat semble logique et attendu car la vase n'absorbe pas l'eau. Alors l'augmentation en substitution en vase rendre le mortier autoplaçant un peu fluide.

L'essai à l'Entonnoir en V (V-funnel test) a été également réalisé pour évaluer la fluidité et la stabilité du MAP. Les résultats sont illustrés sur la figure III.3 suivante.

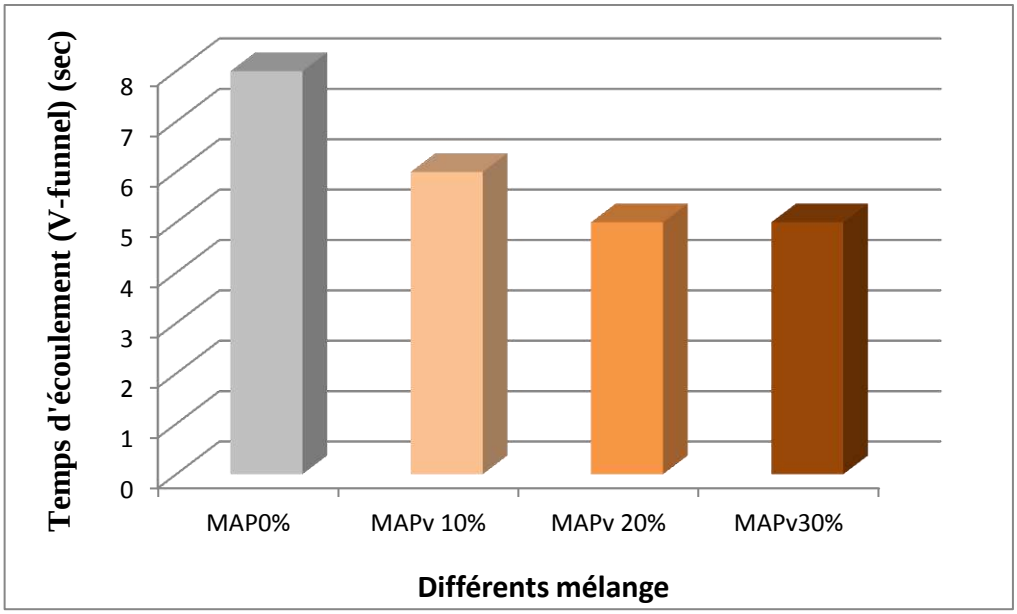


Figure III.3: Temps V-funnel des mortiers à base de la substitution en MAPV

En continuité, les résultats trouvés sur le temps d'écoulement des différents MAP réalisés confirment bien ceux trouvés sur la maniabilité. Encore une fois, on confirme que la poudre de vase diminue le temps d'écoulement de MAP réalisé.

III.2.1. Densité

Les différentes mesures de densité faites sur les mortiers à l'état frais sont illustrées sur la figure III.4 suivante :

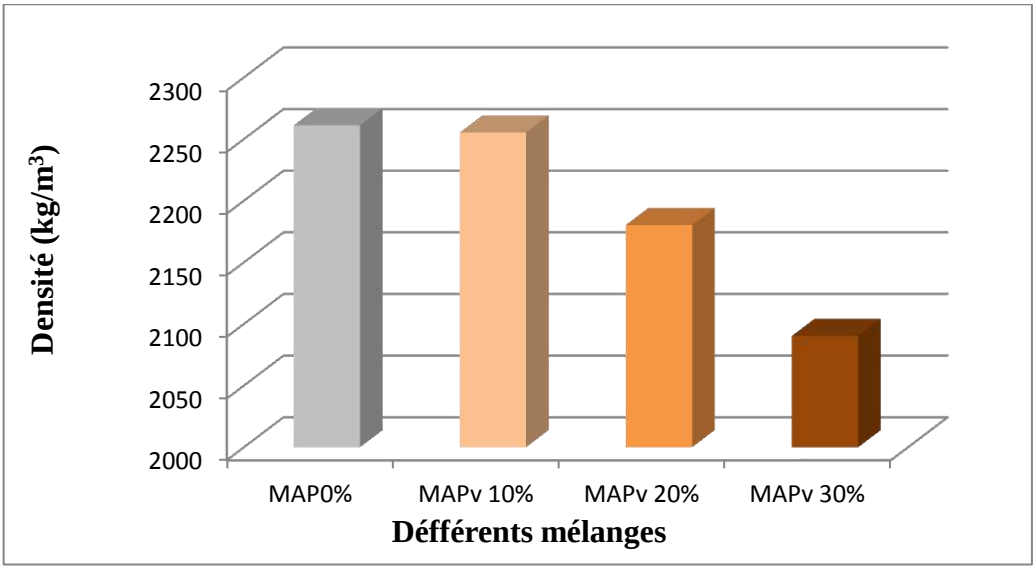


Figure III.4: Densité des mortiers à l'état frais en fonction du pourcentage de substitution en vase.

On remarque d'après la figure III.4 que la densité des MAPV à l'état frais est inférieure à la densité du MAPT et qu'il diminue avec l'augmentation de substitution en vase. La chute est d'environ de 7 % pour les MAPV à base de 30% de substitution en vase.

Donc cette chute de densité ayant une relation directe avec la masse volumique du ciment et puisque la masse volumique du vase (2.56 g/cm^3) est inférieure aux masse volumiques du ciment (3.15 g/cm^3), alors la densité diminue avec l'augmentation du pourcentage de la vase.

III.2.2. Etat durci

III.2.2.1. Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des différents MAP réalisés en fonction de l'âge et le pourcentage de substitution en poudre de vase cuite sont présentés dans la figure III.5

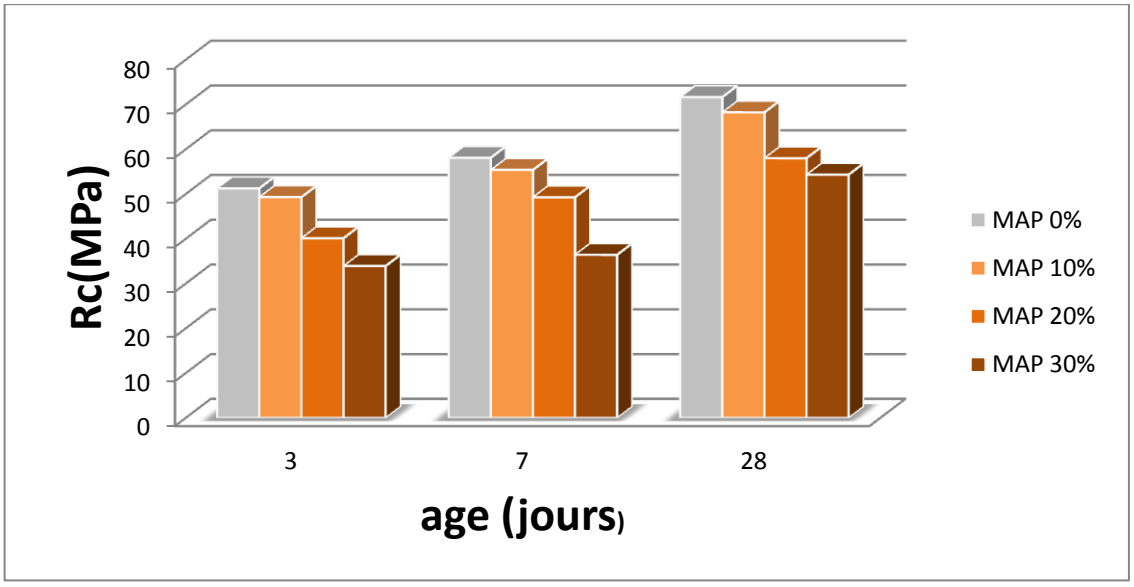


Figure III.5 : Résistance à la compression des mortiers MAPV.

D'après les résultats présentés à la figure III.5, om remarque que les résistances mécaniques progressent avec l'âge pour tous les mortiers réalisés. L'augmentation est de 56% pour la substitution de 30%, de 60% pour la substitution de 20% et de 50% pour la substitution de 10% entre 3 et 28 jours.

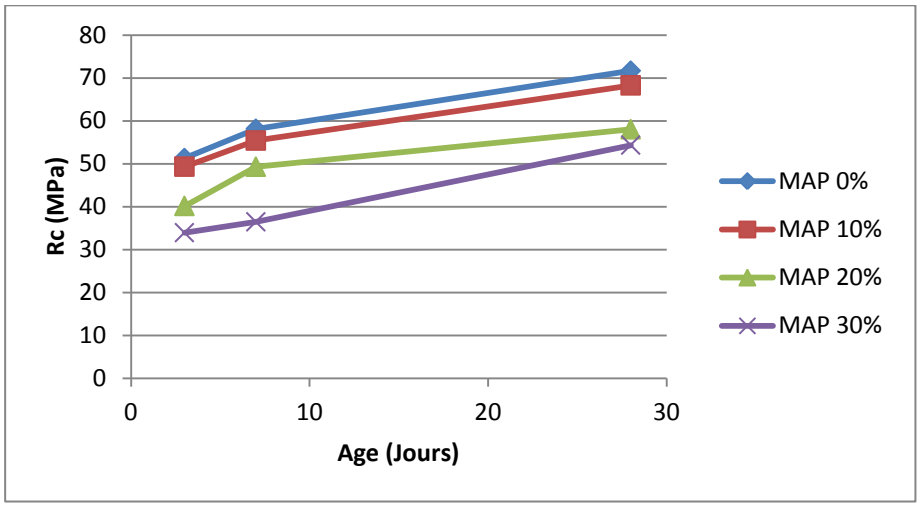


Figure III.6 : Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage en substitution en vase des mortiers

D'âpres les figures III.5, III.6 on constate clairement que la poudre de vase diminue la résistance à la compression du MAP avec la finesse utilisé et ceci pour tous les âgés d'essai.

à l'âge de 28 jours la résistance du MAP témoin augmente jusqu'à 70 MPa, La chute de résistance est environ de 31% pour la substitution de 30% par rapport au mortier sans vase (MPAT).

Donc, on constate d'après ces résultats, que la poudre de vase cuite a diminué les résistances mécaniques des mortiers autoplaçants pour toutes les échéances d'essai.

III.2.2.2. Absorption d'eau par capillarité

L'essai de l'absorption d'eau par capillarité dans le temps des différents MAP réalisés, est représentée dans la figure III.7

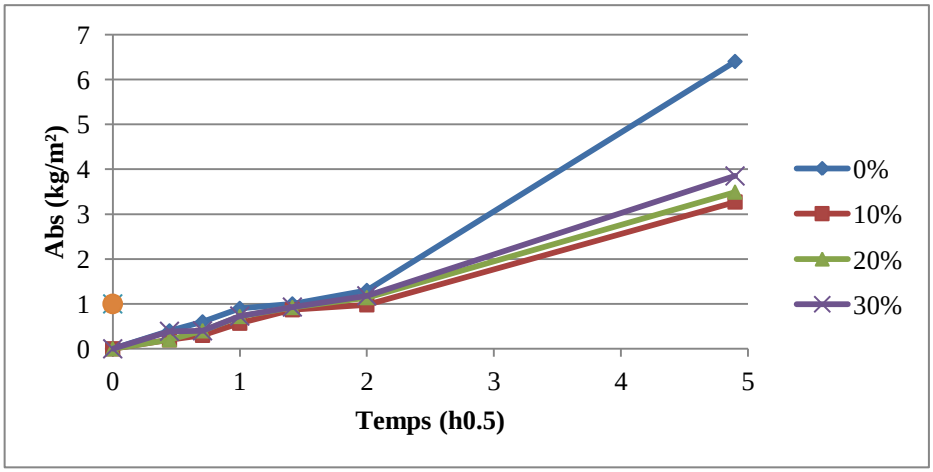


Figure III.7 : Absorption d'eau des mortiers MAPV.

Les résultats d'absorption qui sont présenté ici, obtenus sur des éprouvettes (40x40x160 mm^3) en contact avec une nappe d'eau de 5 mm, représentent effectivement l'état pyrométrique des premiers millimètres de l'éprouvette, sachant que la porosité du MAP est proportionnelle à la vitesse d'absorption d'eau.

D'après les résultats présentés dans la figure III.6, on remarque une diminution dans le taux d'absorption capillaire de tous les mélanges contenants de la vase cuite. Et on constate que le MAP témoin absorbe plus d'eau que le MAPV, ceci semble être l'origine du faite que la poudre de vase cuite n'absorbe pas d'eau. En premier lieu l'absorption final du MAPT est nettement plus grande que l'ensemble des MAPV.

III.2.2. 3. Retrait et gonflement

A. Retrait et perte de masse

L'évolution du retrait à l'air libre à en fonction de l'âge des différents mélange, est illustrée dans la figure III.8

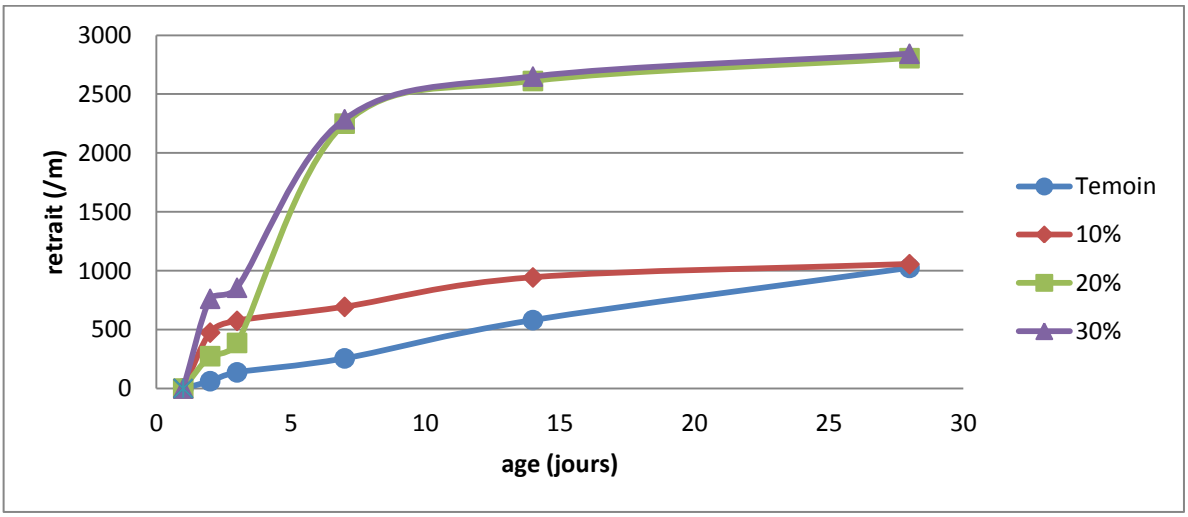


Figure III.8 : Evolution du retrait à l'air libre pendant les 28 jours des MAPV.

Les résultats présentés dans la figure III.8 montrent clairement l'influence du déchet utilisé et son pourcentage de substitution sur l'évolution du retrait de MAPV

D'une façon générale, on remarque que le retrait à l'air libre des MAPV est nettement plus important que celui du MAPT et augmente en fonction de l'âge et en fonction de l'augmentation du pourcentage en substitution en vase (environ «3000 µm/m pour les MAPV avec 30 % de substitution en vase .L'augmentation est d'environ de 2 fois après 28 jours d'exposition à l'air libre à l'intérieur du laboratoire (15°C et 65% H.R).

La perte de masse pour les MAPV est illustrée sur la figure III.9 :

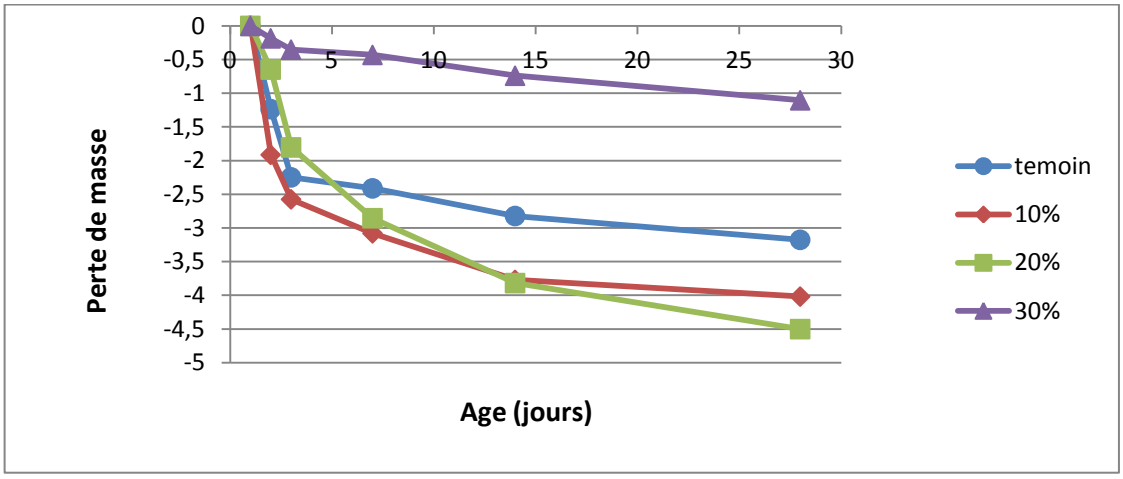


Figure III.9 : Perte de masse en fonction de l'âge des MAPV.

On observe que la perte de masse du mortier autoplaçant a base du vase cuite ne dépasse pas 4 % à 28 jours de conservation à l'air libre pour le MAPV à 20% et de 0,6% pour la substitution de 30% .puisque la poudre augmente et sarrète l'évaporation d'eau .

B. Gonflement et gain de masse

L'évolution du gonflement dans l'eau à 56 jours de conservation, est illustrée dans la figure III.10

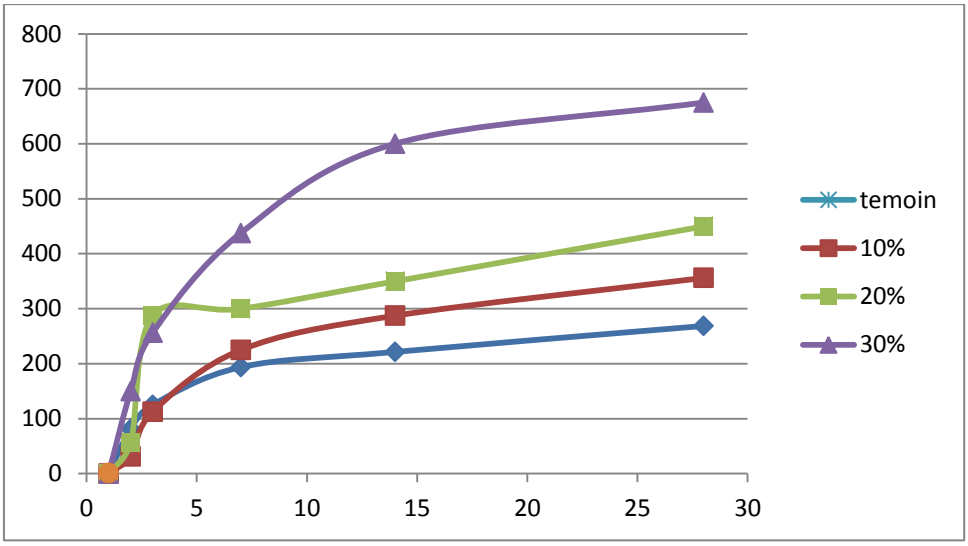


Figure III.10 : Evolution du gonflement dans l'eau pendant les 28 jours des MAPV.

D'âpres la figure on remarque que le gonflement dans Léau augmente en fonction du pourcentage de la substitution en vase.

On observe un gonflement important pour tous les MAPV réalise et atteint les 700 (µm/m) pour les MAPV.

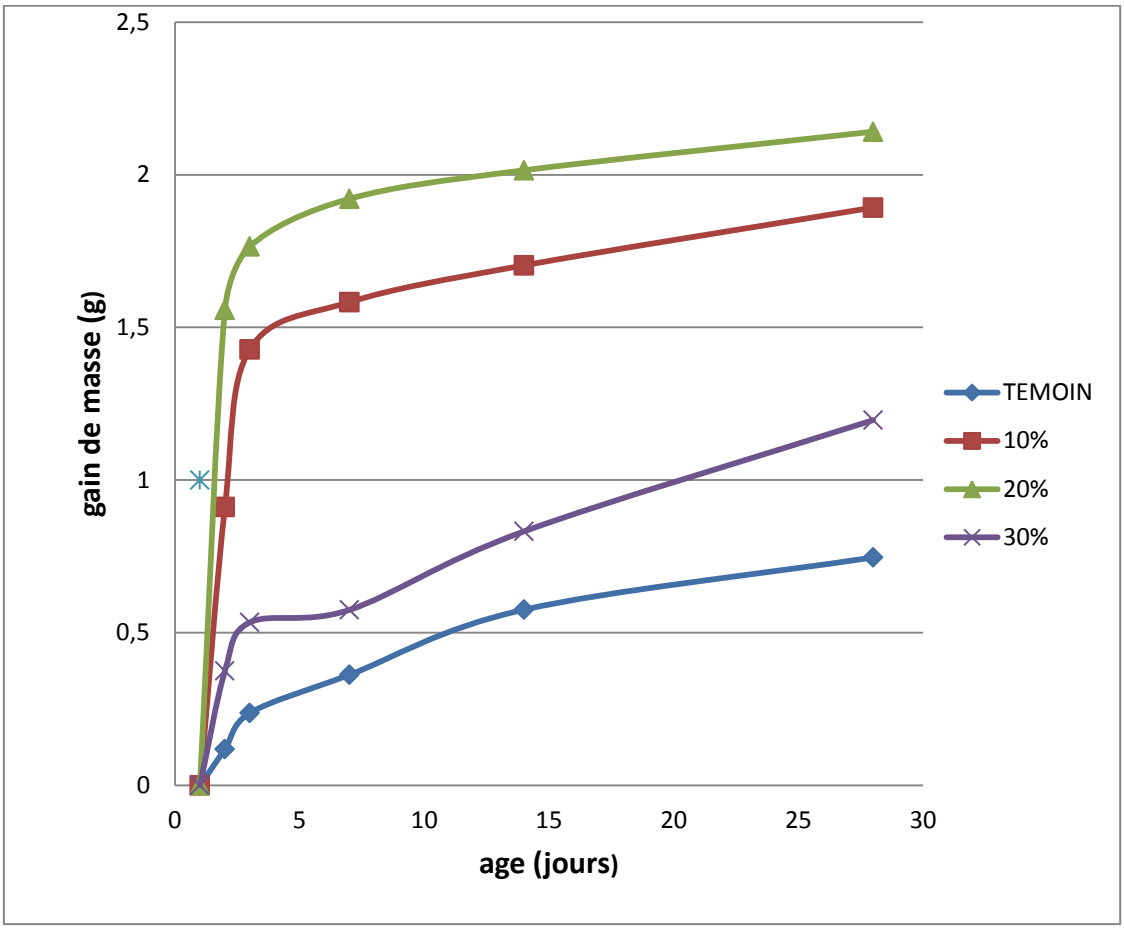


Figure III.11: Gain de masse en fonction de l'âge des MAPV.

D'après la figure III.11 on remarque qu'il y a un gain en masse, atteint 1% pour tous les MAPV.

CONCLUSION

Les résultats de l'étude expérimentale ont mené aux conclusions suivantes :

- La densité à l'état frais des mortiers à base de la vase calcinée est inférieure à la densité du mortier autoplaçant de référence. Et plus on augmente e pourcentage de cette vase dans le mélange, plus la densité du mortier diminue ;
- La vase calcinée améliore la fluidité à l'état frais du mortier autoplaçant. Et plus le pourcentage de d'introduction de cette dernière augment, plus on besoin de mois d'adjuvant superplastifiant, pour avoir une fluidité satisfaisante ;
- La poudre de vase calcinée a diminué les résistances mécaniques des mortiers autoplaçants pour toutes les échéances d'essai par rapport au mortier témoin de

référence (sans vase calcinée). Et plus on augmente le pourcentage de cette dernière, plus la résistance diminuée ;

- Une bonne résistance à la compression a été observée pour tous les mortiers autoplaçants à base de la vase calcinée. Cette résistance est de 50 MPa à 28 jours pour le mortier autoplaçant à base de 30% de vase, comparativement à 70 MPa du mortier autoplaçant de référence ;
- Une diminution dans le taux d'absorption d'eau par capillarité de tous les mélanges contenants de la vase cuite, est observée. Et plus le taux de substitution du ciment par la vase augment, plus le taux d'absorption augmente ;
- La vase calcinée améliore la compacité du mortier autoplaçant. Et refermant les pores à l'origine de l'absorption d'eau et tous particule nocive à la durabilité du mortier autoplaçant ;
- La vase calcinée provoque une augmentation dans les valeurs du retrait et gonflement des mortiers autoplaçant.

Conclusions générales

L'objectif de ce travail est de déterminer l'effet du vase proviennet du barrage L'ADRATE D'EL OMARIA dans la region du MEDEA sur les propriétés à l'état frais et à l'état durci d'un mortier autoplaçant.

La synthèse bibliographique et l'analyse des résultats expérimentaux nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- Les masses volumiques du vase est plus faibles que celles du ciment ;
  La densité des MAPv à l'état frais est inférieure à la densité du MAPT et qu'il diminue avec l'augmentation de substitution en vase ;
- L'étalement des MAPv augmente si on augmente le pourcentage en substitution en vase ;
- Le temps d'écoulement des MAPS diminue e si on augmente le pourcentage en substitution en vase ;

- Une chute de résistance à la compression est remarquée pour les MAPV;
- La chute de résistance en compression est enviren de 30% de substitution en vase, mai il y a une augmentation avec le temps ;
- L'absorption d'eau du MAPT est plus important que les MAPV ;
- le retrait et le gonflement des MAPV est nettement plus important que celui du MAPT et augmente en fonction de l'augmentation du pourcentage en substitution en vase;

➢ Recommandations

- Réalisé un béton autoplaçant BAP avec le même déchet utilise et le même pourcentage des substitution ainsi que la même finesse et d'autre finesse pris en compte pour pouvoir compare les résultats avec ceux trouve sur le mortier autoplaçant (MAP) réalisé ;
- Réalisé d'autre types de mortier et de béton avec le même déchet utilise ;

- Des études restent à mener sur d'autres types de bétons (béton prêt à l'emploi, blocs de béton, BHP …etc) à base du vase et l'optimisation de la composition (utilisation d'autres types de ciment, incorporation de certains types d'adjuvant) afin d'améliorer la résistance et la durabilité du béton recyclé ;
- Les essais de durabilité à savoir le gel dégel, doit être vérifié sur ces MAP recyclés ;
- L'étude de l'effet des sulfates ($MgSO_4$, Na_2SO_4) sur ces MAP ;
- Incorporation de certaines fibres pour améliorer la résistance à la traction du MAP recyclé ;
- Utilisation des ajouts minéraux comme la fumée de silice ou le laitier pour améliorer la résistance à la compression du MAP recyclé ;
- Afin d'encourager l'utilisation du vase cuite , des essais utilisant des autre finesse.

Liste des références

Références bibliographiques

[1] Fayçal LOUDJANI., « Guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagers et assimiles », Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Environnement et du Tourisme, Alger, 2011.

[2] M^{lle} SAADANI Sabrina., « Comportement des bétons à base de granulats recycles », mémoire de magister, Constantine Alger 2008.

de stockage de déchets inertes », 20, Avenue de Ségur 75302 Paris 07 SP, avril 2001.

[3] FOUCAULT et RAOULT, 1980]. [Cité par DUBOIS 2006, P-Y.SCORDIA 2008]

[4][SCHNEIDER 2001] [BERTREAU et al, 1993].

[5][Tran N Thanh 2009]

[6](Philippe joye 2005)

[7] [Agence de l'eau de France 2002], [Chapitre 1/Formation des sols GGC 112 C].

[8] Baron J. Et Ollivier J.P., « Les bétons – Bases et données pour leur formulation » Editions Eyrolles, 1996, 243 p.

[9] OKAMURA H. and Ouchi M. « Self-compacting concrete » Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp. 5-15.

[10] OKAMURA. H, and M. Ouchi, «Self Compacting Concrete: Development, present use and future», In self compacting concrete: Proceedings of the first international RILEM symposium, A. Skrendahl, and O. Petersson, Eds. RILEM Publications, Cachan, France, 1999..

[11] WALRAVEN « Structural aspect of self- compacting concrete » proceedings of the third international RILEM conference on SCC, août 2003,Reykjavik, Islande, pp. 15-22.

[12] Association française de Génie Civil (AFGC) « Bétons AutoPlaçants Recommandations provisoires » juillet 2002, 63 pages.

[13] BILLBERG P. « Form Pressure generated by self-compacting concrete »Proceedings of the third international RILEM conference on SCC, août 2003, Reykjavik, Islande, pp. 271-280.

[14] H. OKAMURA, K. OZAWA, and M. Ouchi. «Self-compacting concrete». Structural Concrete, 17, March 2000.

[15] Hanaa RARES « Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée »07 Décembre 2009

[16] SEDRAN T., "Les bétons autonivelants - Synthèse bibliographique", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées N°169, pp. 53-60, marsavril, 1995.

[17] HASNI L., "Bétons autoplaçants - Synthèse bibliographique", rapport de recherche CEBTP, 46 p., juillet 1999.

[**18] Maher EL BARRAK** « contribution à l'étude de l'aptitude a l'écoulement des bétons autoplaçant à l'état frais »

[19] OZAWA. K, ET. al. «Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures», Proceedings of the second East Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC), Vol.1, pp 445-450, January, 1989

[20] K. Ozawa, S. Tagtemsirikul, and K .Maekawa, «Role of materials on the filing capacity of fresh concrete», In Proceedings of The Fourth CANMET andACI International Conference on fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete, American Concrete Institute, May1992, pp212-137.

[21] G.Dreux, J.Festa, «Nouveau Guide du Béton et Ses Constituants », 8èmeEdition, Edition Eyrolles.1998.

[22] F. Buyle, Bonin, «Bétons autoplaçants ».

[23] ADAM M.NEVILLE, Michel Pigeon :« Propriétés des bétons », traduit par CRIB Centre de Recherche Interuniversitaire sur le Béton SHERBOOKEL aval-éditions Eyrolles 2000-paris.

[24] LE LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE POLYNESI, Notice technique : « La durabilité des bétons », 2008.

.

[25] Okamura H. and Ouchi M. « Self-compacting concrete » Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp. 5-15.

[26] Okamura H. and Ouchi M., "Self-Compacting Concrete. Development, present use and future", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, 1999, Stockholm, Suède pp. 3-14.

[27] J-C.BRAQUENIER et J.DESNYTER, le béton autoplaçant ou autocompactants, 2000.

[28] Z. ABIB, « Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants », thèse de magister USTHB, 2004

[29] ROUIS F. « formulation et propriétés mécaniques d'un béton autoplaçant a basse ciment pouzzolanique et (ou) ciment de laitier »

[30] EL BARRAK M. « Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçant à l'état frais » Thèse de Doctorat de l'université Toulouse III – Paul Sabatier, Juillet 2005, 228 pages.

[31] Bethmont S. « Mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) Etude expérimentale des interactions granulaires » Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, Décembre 2005.

[32] Flatt R.J. « Polymeric dispersants in concrete. In Polymers imparticulate systems - Properties and applications » Marcel Dekker, Inc., 2002, 249 pages.

[33] Efnarc « The European guidelines for self-compacting concrete » The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
www.efnarc.org, 2005, 68p

[34] Uchikawa H., Hanehara S., and Sawaki D. « The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixture »Cement and Concrete Research, 1997, vol 27, pp.37–50.

[35] Flatt R.J., Houst Y.F., Bowen P., Hofmann H., Widmer J., Sulser U., Maeder U. and Bürge T.A. « Interaction of superplasticizers with model powders in a highly alkaline medium » In Fifth CANMET/ACI International Conference, 1997

[36] Agarwal S.K., Masood I. and Malhotra S.K. « Compatibility of superplasticizers with different cements » Construction and Building Materials, 2000, vol 14, pp. 253-259.

[37] Sonebi M. and Bartos P.J.M. « Filling ability and plastic settlement of selfcompacting concrete » Materials and Structures, 2002, Vol 35, pp. 462-469.

[38] Couarraze, G. et Grossiord, J.L. « Initiation à la rhéologie » Lavoisier, Paris, 1983, 219 pages

[39] Beaupré D. and Mindess S. « Rheology of Fresh Concrete: Principles, Measurement, and Applications » MateriaI Science of Concrete V edited by JSKALNY, S.MINDESS, 1998, pp. 149-190.

[40] Hwang S.D. and Khayat K.H. « Effect ofmix design on restrained shrinkage of self-consolidating concrete » Materials and Structures, Published on line 27 March 2009

[41] BANFILL P.F.G. « Workability of Flowing Concrete » Magazine of Concrete Research, 1980, Vol.32, No. 110, March, pp.12-27.

[42] Chapdelaine F. « Etude sur la mesure de la rhéologie du béton frais » Mémoire de Master (M.Sc.), 1998 Université de Laval, 126 pages.

[43] Holcim « Le béton autocompactant Recommandation » Suisse, SA, Version 26.11.2004.

[44] Persson B. « A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete » Cement and Concrete Research, 2001, vol 31, p. 193-198.

[50] De Larrard F. "Concrete mixture-proportioning - A scientific approach", Modern Concrete Technology Series, N°9, E&FN SPON, 1999.

[51] Gibbs J.C. and Zhu W. " Strength of hardened self-compacting concrete " Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Suède, 1999, pp.199-209.

[52] Sonebi M. and Bartos P.J.M. "Hardened SCC and its bond with reinforcement" Proceeding of First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 275-289.

[53] PETERSSON Ö. "Limestone powder as filler in self-compacting concrete – Frost resistance and compressive strength" Proceedings of 2nd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Tokyo, Japon, 2001, pp.277-284.

[54] FELEKOGLU B., Yardimci M. Y. and Baradan B. "A comparative study on the use of mineral and chemical types of viscosity enhancers in self-compacting concrete", Proceedings of 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, 2003, pp.446-456.

[55] Klug Y. and Holschemacher K. "Comparison of the hardened properties of Self Compacting and Normal Vibrated Concrete" 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, 2003, pp. 596-605.

[56] GUNEYISI E. and Gesoglu M. « A study on durability properties of high-performance concretes incorporating high replacement levels of slag » Materials and Structures, 2008, vol 41, pp. 479–493.

[57] CHOI Y.W., Kim Y.J., Shin H.C. and Moon H.Y. « An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete » Cement and Concrete Research, 2006, vol 36, pp. 1595–1602.

[58] Gram H.E. and Piiparinen P. "Properties of SCC – Especially early age and long term shrinkage and salt frost resistance" Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 211-225.

[59] Song H.W., Byun K.J., Kim S.H. and Choi D.H. "Early-Age creep and shrinkage in Self-Compacting Concrete incorporating GGBFS" Proceedings of the second International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, 2001, pp. 413-422.

[60] TURCRY P. « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation » Thèse de doctorat de l'Ecole centrale de Nantes, 2004, 213 pages.

[61] VITEK J.L. "Long-Term Deformations of Self-Compacting Concrete" 3rdInternational Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, 2003, pp. 663-671.

[62] Hu C. et Barbieri B., « Comparaison des retraits des bétons autonivelants et d'un béton fluide traditionnel », Science des matériaux et propriétés des bétons, 1ère Rencontre Internationale, Toulouse, 1998, pp. 265-272.

[63] Vieira M. and Bettencourt A. "Deformability of hardened SCC" 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik,Iceland, 2003, pp. 637-644.

[64] Pons G., Proust E. and Assié S. "Creep and Shrinkage of Self-Compacting Concrete: A different behavior compared with vibrated concrete?" 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik,Iceland, 2003, pp. 645-654.

[**65] Lee K.M., Lee H.K., Lee S.H. and Kim G.Y.** « Autogenous shrinkage of concrete containing granulated blast-furnace slag » Cement and Concrete Research, 2006, vol 36, pp. 1279–1285.

[66] Neville A. M., " Propriétés des Bétons ", traduction CRIB, Sherbrooke, Canada, éd. Paris Eyrolles 2000.

[67] Van B. K. and Montgomery D. "Drying shrinkage of self-compacting concrete containing milled limestone" Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 227-238.

[68] CHAN Y.W., Chen Y.G. et Liu Y.S."Effect of consolidation on bond of reinforcement in Concrete of different workabilities" ACI Materials Journal, July August 2003, vol 100, pp. 294-301.

[69] VALCUENDE M. ET Parra C. « Bond behavior of reinforcement in self-compacting concretes » Construction and Building Materials, 2009, vol 23, pp. 162–170.

[70] RILEM Technical Committee « Final report of RILEM TC 205-DSC: durability of self-compacting concrete » Materials and Structures, 2008, vol 41, pp. 225–233.

[71] Persson B. « Fire resistance of self-compacting concrete, SCC » Materials and Structures, November 2004, Vol 37, pp. 575-584.

[72] CHENG A., Huang R., Wu J.K. et Chen C.H. "Influence of GGBS on durability and corrosion behaviour of reinforced concrete" Materials Chemistry and Physics, 2005, vol 93, pp. 404-411.

[73] Pal S.C., Mukherjee A. and Pathak S.R. "Corrosion behaviour of reinforcement in slag concrete" ACI Materials Journal, November-December 2002, vol 99, pp. 521-527.

[74] Yeau K.Y. et Kim E.K. « An experimental study on corrosion resistance of concrete with ground granulate blast-furnace slag» Cement and Concrete Research, 2005, vol 35, pp. 1391–1399.

[75] Hou W.M., Chang P.K., and Hwang C.L. « A study on anticorrosion effect in high performance concrete by the pozzolanic reaction of slag » Cement and Concrete Research, 2004, vol 34, pp. 615–622.

[76] HASSAN A.A.A., Hossain K.M.A. and Lachemi M. « Corrosion resistance of selfconsolidating concrete in full-scale reinforced beams » Cement & Concrete Composites, 2009, vol 31, pp. 29–38.

[77] NA 442, Normes Algérienne., « Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants », 1994, 2000.

[78]EN 197-1 ; Normes Européenne : « Ciments courants »,1994.

[79]NF P 15-301 ; « Liants hydrauliques – définitions, classification et spécification des ciments », Juin 1994.

[80] NF P 15-476, Normes AFNOR., « Méthodes d'essais des ciments-Détermination de la finesse », Aout 1990.

[81] NF P 15-431, Normes AFNOR., « Liants hydrauliques – technique des essais-détermination du temps de prise sur mortier normal », Février 1994.

[82] NF P 15-473, Normes AFNOR., « Méthodes d'essai des ciments-partie 3 : détermination du temps du prise et de la stabilité », Aout 1995.

[83] NF P 15-471, Normes AFNOR., « Méthodes d'essais des ciments -Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques », Aout 1995.

[84] NF P 18-303, Normes AFNOR., « Eau de gâchage pour béton », Aout 1990

[85] CEN EN 196-1 ; Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments – partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15-471) », Aout 1995.

[86] NA 451 ; Normes Algérienne : « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination de la teneur en eau par séchage en étuve ventilée », 1989.

[87]Dr. CHERAIT Yacine, Mr NAFA Zahredine : « Eléments de matériaux de construction et essais », Direction de la publication universitaire Guelma ,2007.

[88] NF P 18-598, Normes AFNOR., « Granulats – Équivalent de sable », octobre 1991.

[89] DUPAIN.R et all, « Granulats, sols, ciment et béton : Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire » ,2eme édition CASTEILLA, Paris ,2000.

[90] NA 2607 ; Normes Algérienne : « Granulats - Analyse granulométrique par tamisage », 1990.

[91]NF EN 196-1, 1995, « *Méthodes d'essais des ciments. Partie 1: Détermination des résistances mécaniques* », AFNOR.

[92] NF P 18-440, Normes AFNOR., « Essai pour béton frais - Masse volumique », décembre 1999.

[93] NF P 18-404, Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules », 1989.

[94] NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002.

Annexe

Annex A

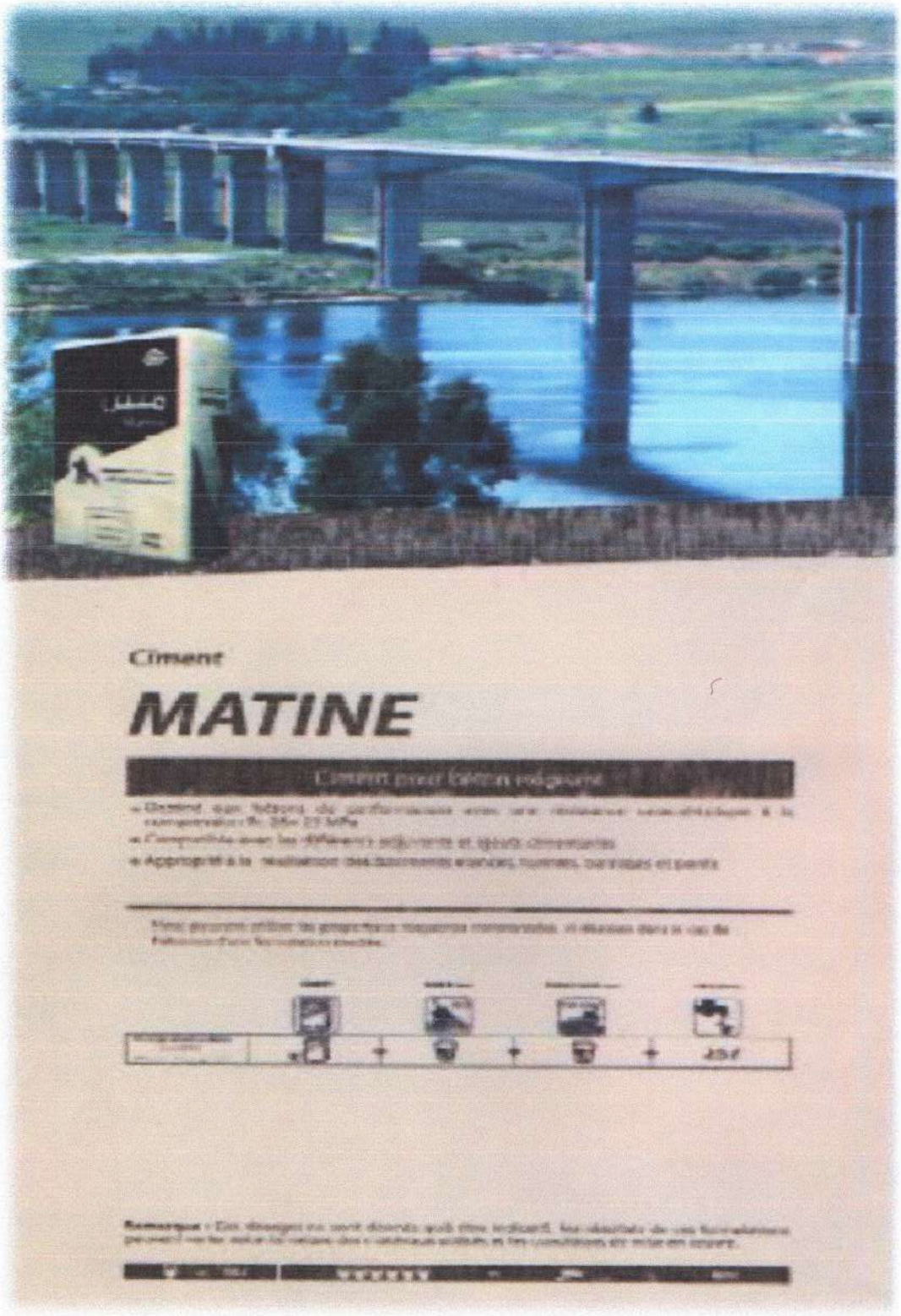


Fig.A.1: La fiche technique du ciment.

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42,5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax: +213 (0) 21 48 16 71

Annex B

NOTICE TECHNIQUE

MEDAFLOW 30

Super plastifiant
Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

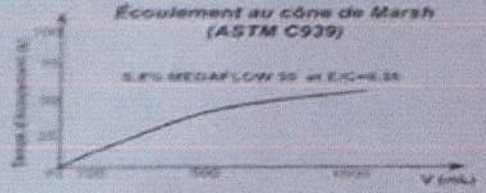
DOMAINES D'APPLICATION

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

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Eviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton

Ecoulement au cône de Marsh (ASTM C939)



Sur béton durci :
- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1-4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

• Aspect	Liquide
• Couleur	Brun clair
• pH	6 – 6,5
• Densité	1,07 ± 0,01
• Teneur en chlore	< 0,1 g/l
• Extrait sec	30%

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre 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

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

Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex-dz.com – E-mail: granitex@granitex-dz.com

MEDAFLOW 30

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cuve/container 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur **www.granitex-dz.com**

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

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

Granitex
Granitex
Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com

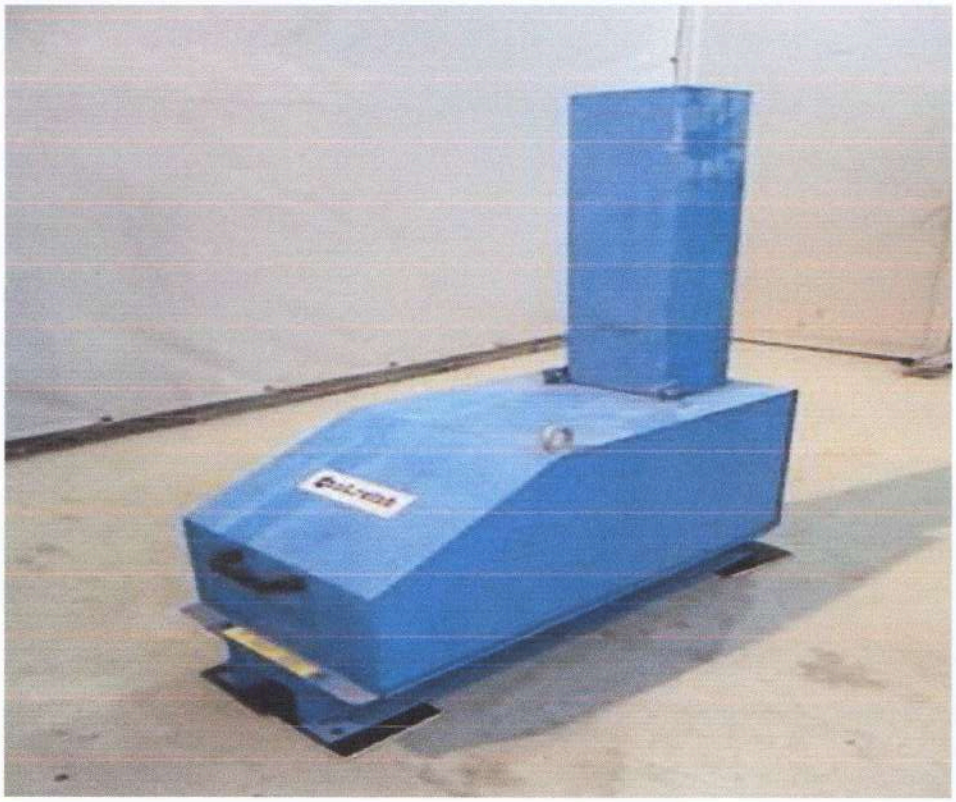


Fig.B.3: concasseur



Fig.B.4 : Tamiseuse électrique



