REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie civil
Spécialité : Matériaux en génie civil.

Elaboration d'un mortier autoplaçant à base des déchets de béton de démolition

---

Présenté par :

CHIKHI Amel

CHIKHI Mouna

Proposé et Dirigé :

Pr BOUKENDAKDJI.O

M^{me} BACHENE.S

Promotion 2019

Remerciement

Nous remercions tout d'abord ALLAH de nous avoir donné la force d'accomplir ce travail qui reflète nos efforts le long des années d'étude.

Nous tenons à exprimer nos gratitudes et vifs remerciements à notre promoteur, Dr Boukendakji Othman et co-promoteur M. Bachene pour son orientation et ces précieux conseils pendant la durée de travail sur ce projet.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent également aux membres du jury, qui ont accepté de participer à l'évaluation de ce travail.

Nous remercions également tous les enseignants du département génie civil et tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin, directement ou indirectement à l'élaboration de ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à tous les étudiants de Master 2 Génie civil, notamment les étudiants de la 2ème Année Master Construction et Matériaux pour leur esprit de groupe et leur solidarité.

Mouna.Amel

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier le dieu tout puissant qui m'adonné la force et la patience à achevé ce travail.

Pour la fontaine de patience et d'optimisme et d'espoir...qui m'a appris a donné sans attendre...Mes chers parents

Pour ceux qui portent son nom avec fierté... je demande à dieu de vous donner une longue vie mon cher père...

Pour mon ange dans la vie...

Pour la signification de l'amour et le sens de la compassion et le dévouement...

Pour le secret de mon succès a été son invocation et d'affection pour ma chère mère...

Pour ceux qui sont plus proches de la spiritualité mes chères frères :Imed Eddine, Sif Eddine, Islem , Youcef.

Et ma chère précieuse sœur : Ahlem

Je remercie mon mari Smail et gratitude à mes très chers beaux parents Djiar, et ses frères Ayache, Abd Elnaser et Abd Elrezaket .ses sœurs : Nassima, Hada , GHania , Razika et leurs enfants Achraf ,Maria, Haitham ,rahaf, Firase et Razane.

A tous mes amis(es) et leurs familles de la faculté de promotion du génie CIVIL (2019/2020) et spécialement à mon binôme et compatriote de ce projet, ma chère Amel

A mes amis : Hassiba , Hadjila , Houda, Assma , Khawla.

A tous ceux que je porte dans mon cœur.

Mouna.ch

DEDICACE

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

À ma mère qui a veillé sur moi jour et nuit depuis mon enfance qui m'a donné l'amour la gentillesse le respect à moi- même c'est la reine de mon cœur.

À mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis. Merci mes parents.

À mes cher frère : Naser ,Yasine et Karim.

Et Mes chères sœurs :Fouzia ,Rachida et Amina.

Pour leur encouragement surtout dans mes études.

À ma cher binôme :Mouna, pour ses participation vive durant l'élaboration de ce travail et sa famille.

À Tous mes amies en particulier Nawel ,Fatiha,Yassmine ,hadjila Hassiba ,nour elhouda ,soumia , khadre .

À ceux qui se sont sacrifiés et qui se sont donnés pour les études et dont je rends un vibrant hommage.

À toute la promotion 2019.de Génie civil.

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

Amel.ch

Résumé

La consommation énorme de sable naturel en tant que matériaux de construction a inévitablement entraîné de graves impacts écologiques, comme cela a été rapporté dans le monde entier. À cet égard, il sera très utile que des substituts, tels que les sables recyclés des déchets de construction et de démolition, puissent être utilisés pour remplacer les sables naturels afin de fabriquer des mortiers qualifiés et écologique.

D'un autre côté, l'industrie est toujours accompagnée par des produits secondaires ou des déchets qui ont une incidence sur l'environnement. La gestion des déchets solides est une des principales préoccupations des environnementales dans le monde. Avec la rareté de l'espace de décharge, l'utilisation des déchets est devenue une alternative intéressante à l'élimination.

Cette recherche est menée sur la possibilité d'utilisation des déchets de béton de démolition comme remplaçant de sable naturel et le laitiers des haut fourneau qui est un sous-produit de l'industrie sidérurgique comme substitut au ciment dans la fabrication des mortiers autoplaçant. Un total de 15 mortiers autoplaçant sont conçus et moulés avec différents pourcentages de remplacement du sable recyclé varie de 0, 25, 50, 75 et 100% de béton avec une variation sur le taux de substitutions de ciment portland par 0, 20 et 40% du laitiers des haut fourneau.

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible de fabriquer des mortiers autoplaçant avec du sable recyclé, avec un optimum de 50%, L'utilisation de ce type de sable Affecte défavorablement la porosité et l'absorption des mortiers, cela peut être compensé par l'utilisation le laitier comme substituant de ciment a un taux 20% qui améliore aussi la résistance à la compression à long terme.

Mots clés : mortier autoplaçant, sable recyclé, déchets, valorisation, environnement, béton de démolition, laitier de haut fourneau.

Abstract

The huge consumption of natural sands as building materials has inevitably resulted in serious ecological impacts, as has been reported around the world. In this regard, it will be very useful for substitutes, such as recycled sands for construction and demolition waste, to be used to replace natural sands to produce qualified and environmentally friendly mortars.

On the other hand, the industry is always accompanied by secondary products or waste that has an impact on the environment. Solid waste management is one of the main environmental concerns around the world. With the scarcity of landfill space, the use of waste has become an attractive alternative to disposal.

This research is conducted on the feasibility of using demolition concrete waste as a substitute for natural sand and blast furnace slag which is a byproduct of the steel industry as a substitute for cement in the manufacture of self-compacting mortars. A total of 15 self-compacting mortars are designed and molded with different replacement percentages of recycled sand ranging from 0, 25, 50, 75 and 100% concrete with a variation on the rate of portland cement substitutions by 0, 20 and 40% slag blast furnace.

The results obtained show that it is possible to manufacture self- mortars with recycled sand, with an optimum of 50%. The use of this type of sand adversely affects the porosity and the absorption of the mortars, this can be compensated by the use of slag as a cement substitute has a raté of 20% which also improves the long-term compressive strength.

Key words: self - placing mortar, recycled sand, waste, recovery, environment, demolition concrete, blast furnace slag.portland.

ملخص

إن الاستهلاك الضخم للرمال الطبيعية كمواد بناء قد أدى حتما إلى آثار بيئية خطيرة ، كما ورد في جميع أنحاء العالم في هذا الصدد، سيكون من المفيد للغاية استخدام بدائل، مثل الرمال المعاد تدويرها للبناء وهدم النفايات، لاستبدال الرمال الطبيعية لإنتاج الخرسانة المؤهلة والصديقة للبيئة.

من ناحية أخرى، فإن الصناعة دائمًا ما تكون مصحوبة بمنتجات أو نفايات ثانوية لها تأثير على البيئة. إدارة النفايات الصلبة هي واحدة من الاهتمامات البيئية الرئيسية في جميع أنحاء العالم مع ندرة مساحة المكب ، أصبح استخدام النفايات بديلاً جذابًا للتخلص منها.

تم إجراء هذا البحث حول جدوى استخدام مخلفات الهدم الخرسانية كبديل عن الرمل الطبيعي وخبث الافران التي تعتبر نتيجة ثانوية لصناعة الصلب كبديل للإسمنت في صناعة الخرسانة المضغوط ذاتيًا. تم تصميم وتشكيل مجموعه 15 خرسانة مضغوطًا ذاتيًا بنسب مئوية بديلة مختلفة من الرمال المعاد تدويرها والتي تتراوح بين 0 و 25 و 50 و 75 و 100٪ من الخرسانة مع تباين في معدل بدائل الإسمنت بنسبة 0 و 20 و 40٪ من خبث الافران.

تشير النتائج التي تم الحصول عليها إلى أنه من الممكن تصنيع خرسانة ذاتية التعزيز مع الرمل المعاد تدويره بنسبة 50٪ على الأقل ، واستخدام هذا النوع من الرمل يؤثر سلبًا على مسامية وامتصاص الملاط ، ويمكن تعويض ذلك عن طريق استخدام الخبث كبديل الإسمنت بمعدل 20 ٪ مما يحسن أيضا قوة الضغط على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية : الملاط الذاتي ، الرمل المعاد تدويره ، النفايات ، الاستعادة ، البيئة ، خرسانة الهدم ، خبث الأفران العالية.

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Notations et Abréviations

Introduction générale……..01

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1- Mortier autoplaçant ……..……03

I-1-1- La composition des mortiers auto plaçant……..……..03

a- Le sable…….03

b - Le rapport Sable/Mortier ……04

c- La poudre…….....04

c-1-Le ciment……..05

c.2 Les ajouts minéraux……...05

d. L'eau de gâchage…….....06

e. Les adjuvants……..…06

I.1.2 Classification des mortiers…….....06

a. Classification selon leur domaine d'utilisation……...…..06

b. Classification selon la nature du liant …….…….07

c. Classification selon le mode de fabrication ……..07

I.1.3 Différents types des mortiers ……..……07

a. Mortier pour chape ……..……07

b. Le coulis ……..……08

c. Enduits …….....08

d. Jointe de maçonnerie…….....09

e. Mortiers de calage et de scellement ……09

F. Mortier de bourrage ……10

I.2. Granulats recyclé de béton démolition …….....10

I.2.1. Aspect économique et écologique ……....10

I.2.2 .Elaboration des granulats recyclés ……13
I.2.3 .Utilisation des granulats recyclés……..16
a- Les routes et le VRD (Voiries Réseaux Divers)……...16
b. Utilisation détournée – Eléments de parement…….….17
c. Application en construction…….....17
d. Application en sous-fondation de voirie…….……18
e. Application en fondation et sous-fondation de bâtiments industriels et de services…...18
f. Application en fondation, sous-fondation et fondation d'infrastructures sportives…….18
I.2.4. Caractéristique des granulats recyclés…….....19
I.2.4.1 Composition des granulats recyclés…….....19
I.2.4.2 Densité des granulats recyclés…….19
I.2.4.3 Zone de transition interfaciale……20
I.2.4.4 Porosité et absorption……..21
I.2.4.5. fines de sable recyclé……..22
I.2.5. Règlementation……...22
a. Circulaire sur la gestion des déchets…….....22
b. Les normes granulats……...23
I.2.6. Effet de granulats recyclés de béton de démolition sur les propretés de matériaux cimentaires……24
a. Etat frais……..24
b. Etat durci……26
c. Durabilité……27
I.3. Laitiers de haut fourneau……28
I.3.1 Définition…….....28
I.3.2 Laitier granulé de haut fourneau……..…….....29
I.3.3. Méthode de granulation du laitier……30
I.3.3.1. Voie humide…….....30
I.3.3. 2. Voie demi – sèche……30
I.3.3. 3. Voie sèche…….....31
I.3.4. Composition chimique……31
I.3.5. Composition minéralogique……32
I.3.6. l'influence de laitier haut Fourneau sur Propriétés des matériaux cimentaire……32

a. Etat frais……...32
b. Etat durci……...33
c. Durabilité……..36
I.4 Conclusion……..38

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

II.1. Introduction ……..40
II.2. Caractéristiques des matériaux……..40
II.2.1.Ciment ……40
II.2.1.1.Composition du ciment ……...41
II.2.2.Laitier de haut fourneau …….. 42
II.2.3. Le sable…….42
II.2.4. Adjuvant…….. . 45
II.2.5.L'eau de gâchage……. .. 46
II.3.Formulation du mortier auto plaçant de référence (MAPT)…… .46
II.3.1.Le rapport sable/mortier……..... . 46
II.3.2.Le rapport eau /poudre (E/P) et le rapport Super plastifiant /Liant (Sp/L)…….. 46
II.3.3.La substitution de ciment par le laitier des hauts fourneaux……..…… 47
II.3.4.Technique d'utilisation de sable recyclés…….. 48
II.3.5.Séquence de malaxage du mortier…….…… 49
II.3.6.Préparation des éprouvettes……. 49
II.3.7.Conservation……...…….. 50
II.4.Les essais sur les mortiers……... 50
II.4.1.Etat frais……..…… 50
A. Essai d'étalement au mini –cône……..... 50
B.Essai d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel test)…….….... 51
C.La masse volumique……...…… 52
II.4.2.Etat durci……..… 52
a. Résistance à la compression……..….... 52
b. Essai de traction par flexion……..... 52
c. Absorption d'eau par capillarité……..…. 53
d. Porosité accessible à l'eau …….. 54

II.5.Variable étudiées…….. 56
II.6.Conclusion…… 58

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Introduction ……59
III.2. Formulation des mortiers. ……..…….59
III.3.Etat frais …….……..…61
III.3.1.Besoin en superplastifiants……..……...61
III.3.2.La masse volumique……..…….62
III.4. Etat durci. ……...…….63
III.4.1. Résistance à la compression…….. . ……63
III.4.2. Résistance à la traction .....…... 66
III.4. 3.Porosité accessible à l'eau…….69
III.4.4. Absorption d'eau par capillarité……..……..71
III.5.Conclusion……74
Conclusion générale…….……75

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

Tableau I.1 Prix comparés des granulats recyclés et granulats naturels dans différents pays .13
Tableau I.2 Composition chimique du laitier en %……..31
Tableau I.3 Masse volumique des différents mortiers élaborés ……...33
Tableau II.1.Caractéristique physico-mécanique du ciment CPA CEM I42.5…….41
Tableau II.2.Caractéristique chimique du laitier d'El Hadjar……...42
Tableau II.3.Caractéristique du sable……44
Tableau III.1.Composition des différents mortiers réalisés……..60

LISTE DES FIGURES

Figure I .1 Les mortier pour chapes ……08
Figure I.2 Les mortier et coulis de réparation ……08
Figure I.3 Les enduits …… 09
Figure I.4 Le mortier joint de maçonnerie …….. 09
Figure I.5 Les mortier pour scellements et calages ……10
Figure I.6. Mortier de bourrage ……11
Figure I.7. Evolution de la production des agrégats période 2000-2009……..11
Figure I.8 .Productions des agrégats (m^3) pour l'année 2009……12
Figure I.9 .déconstruction et élaboration déchets ……14
Figure I.10. Schéma général de production de granulats recyclés ……...15
Figure I.11 .Schéma d'une coupe de chaussé ……..16
Figure I.12. Schéma représentatif d'une réutilisation directe de déchets de démolition ……17
Figure I.13 .Voile de béton recyclé ……..17
Figure I.14 .Sous fondation de chaussées ……18
Figure I.15 .Couche de fondation d'un hangar……18
Figure I.16 .Couche de fondation ……18
Figure I.17 Compositions des granulats recyclés de béton _Source ……19
Figure I.18 Relation entre la densité et le taux de mortier résiduel ……20
Figure I.19. Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite)……..21
Figure I.20 .Etalement des BAP en fonction du taux de substitution des sables…….25
Figure I.21. La densité a l'état frais des BAP en fonction des taux de remplacement de sable……..26
Figure I.22 La résistance à la compression en fonction de taux de substitution de sable naturel (N) par le sable recyclé ……26
Figure I.23. Laitier cristallisé et laitier vitrifié (granulé) de haut fourneau ……29
Figure I.24 .Granulation du laitier de haut fourneau d'El hadja……..30
Figure I.25. Effet du pourcentage de laitier sur la résistance à la compression C0L0 : liants avec 0% de laitier avec 100% ciment CEMI, C0L10 : liants avec 10% de laitier, C0L20: liants avec 20% de laitier, C0L30: liants avec 30% de laitier, C0L40 [A.Toufik Boubekeur, 2010]……34
Figure I.26 .Variation de la Résistance à la Compression en fonction du Temps ……...35
Figure I.27 .Variation de la Résistance à la Traction en fonction du Temps……36
Figure I.28 Evolution de la porosité ouverte des BAP en fonction du dosage en addition…..38
Figure II.2.Poudre de laitier avant broyage et âpre broyage ……42

Figure II.3. Sable naturel d'oued souf…….....43
Figure II.4. Sable recyclée de béton dz démolition…….43
Figure II.5.Concasseur à machoire……...43
Figure II.6.Courbe granulométrique des sable utilisés ……44
Figure II.7. Super plastifiant MEDAFLOW 30utilisé……..45
Figure II.8.Malaxeure de 5L…….47
Figure II.9.Séquence de malaxage du mortier autoplaçant……...49
Figure II.10.Les moules 4*4*16……...50
Figure II.11.Conservation dans l'eau a20 °C+2°C…….....50
Figure II.12.Essai d'étalement au mini cône…….51
Figure II.13.Dimension du l'entonnoir en V…….51
Figure II.14.Essai de compression sur mortier…….52
Figure II.15.Essai de traction par flexion ……53
Figure II.16.Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité…….54
Figure II.17.Essai d'absorption d'eau par capillarité……....54
Figure II.18.Essai de porosité d'accessible à l'eau……...56
Figure II.19.Schéma de pesée hydrostatique…….....56
Figure II.20.Matériaux utilisées…….....57
Figure II.21.Les essais sur mortiers……..58
Figure III.1. Besoin en adjuvant en % pour les différents mortiers autoplaçants étudiés……61
Figure III.2. Masse volumique en fonction des différents mortiers autoplaçants étudiés…….62
Figure III.3.Résistance à la compression des MAP en fonction le taux de sable recyclé à 3j..63
Figure III.4. Résistance à la compression des MAP en fonction le taux de sable recyclé à 7j.63
Figure III.5. Résistance à la compression de MAP en fonction le taux de sable recyclé à 28j.63
Figure III.6.Résistance à la compression des MAP en fonction le taux de sable recyclé à56j.63
Figure III.7. Résistance à la traction des MAP 0L en fonction de taux de sable recyclé…….....67
Figure III.8. Résistance à la traction des MAP 20L en fonction de taux de sable recyclé…...67
Figure III.9. Résistance à la traction des MAP 40L en fonction de taux de sable recyclé…...68
Figure III.10. Porosité des MAPL. en fonction de taux de sable recyclé…….69
Figure III.11. Porosité des MAPL20 en fonction de taux de sable recyclé……..70
Figure III.12. Porosité des MAPL40 en fonction de taux de sable recyclé……..70
Figure III.13 Absorption par capillarité à3j des MAPL0 en fonction de taux de sable recyclé71
Figure III.14 Absorption par capillarité à3j des MAPL20 en fonction de taux de sable recyclé……...71

Figure III.15 Absorption par capillarité à3j des MAPL40 en fonction de taux de sable recyclé……..72
Figure III.16 Absorption par capillarité à56j des MAPL0 en fonction de taux de sable recyclé……..72
Figure III.17 Absorption par capillarité à56j des MAPL20 en fonction de taux de sable recyclé……..73
Figure III.18 Absorption par capillarité à56j des MAPL40 en fonction de taux de sable recyclé……...73

NOTATIONS

BAP	Béton autoplaçant	AFGC	Association française du génie civil
CEMI	Ciment portland ordinaire de	SP	Super plastifiant
E/C	Rapport eau sur ciment	SP/L	superplastifiant/liant
M	Mortier témoin	E/P	rapport eau/poudre
MAP	Mortier autoplaçant	ITZ	Interfacial Transition Zone
NA	Norme Algérienne	VRD	Voiries Réseaux Divers
NB	Norme Belge	BRH	brise roche hydraulique
NE	Norme Européenne	LHF	Laitier des hauts fourneaux
C	Dosage du ciment	UNEP	United Nations environment program
p	la porosité	Ab	Absorption
Mf	Module de finesse	UCL	University College of London
S	Le sable	SR	Sable recyclé
RC	La résistance a compression	SN	Sable naturelle
S/M	le rapport Sable/Mortier	LHF	Laitier de haut fourneau
JSCE	Japan society of civil engineers	Rt	La résistance à la traction
EFNARC	european federation of national association representing for concrete.	Rc	La résistance à la compression
		FRA	Fine recycled aggregate

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

De nos jours, dans le domaine de la construction et des travaux publics, et devant les besoins croissants en matériaux et 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 de démolition et les sous-produits industriels. Par conséquent 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 au 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 et 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 d'étudier la possibilité d'élaboration d'un mortier autoplaçant avec la substitution du ciment par 20% et 40% de laitier des hauts Fourneaux, et la substitution du sable naturelle par 25%, 50%, 75%, et 100% de sable recyclé de béton de démolition.

Le travail est présenté en trois chapitres :

Le premier chapitre qui servira par la suite de base pour les analyses et les discutions des résultats expérimentaux, est consacré à l'étude bibliographique regroupant trois parties : dans la première partie, nous présentons le concept et la formulation des mortiers autoplaçants, ainsi que l'influence des principaux constituants sur les propriétés des MAP. Dans la deuxième partie nous avons abordé les effets des granulats recyclés sur les caractéristiques des matériaux cimentaires. Enfin, dans la troisième partie nous présentons les effets du laitier des haut Fournaux sur les caractéristiques des matériaux cimentaire.

Le deuxième chapitre est destiné en premier lieu à la caractérisation des matériaux entrant dans la composition du MAP, et en second lieu à la confection et la conservation des éprouvettes passant par la formulation et le malaxage et finalement dans le protocole expérimental une description détaillé des essais de caractérisation du mortier à l'état frais et durci.

Le troisième chapitre est consacré à l'exposition et la discussion des différents résultats obtenus, leur analyse et leurs interprétations.

Enfin, nous présentons une conclusion générale sur notre travail ainsi que d'éventuelles perspectives et recommandations.

CHAPITRE I :

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Mortier autoplaçant

Les mortiers sont très utilisés pour des travaux de tous types, ces derniers se déclinent en divers produits, qu'ils soient de ciment, de chaux ou de résine, tous ne s'utilisent pas de la même façon.

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage ou combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différant selon les réalisations et d'adjuvant.

I.1.1 la composition des mortiers autoplaçant

a. Le sable

Les granulats fins sont un facteur très important pour la formulation des mortiers. Ils présentent l'ossature qui augmente les résistances mécaniques, réduis les variations volumiques, les chaleurs dégagées et même le prix. La quantité, la granulométrie, la composition, la forme et la porosité sont à considérer lors de la formulation d'un mortier.

Plusieurs types de sable peuvent être utilisés dans les MAP,

- naturels roulés (de rivières, de sablières, ..), de nature siliceuse ou silico calcaire.
- naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites, ils sont anguleux et durs.
- Recyclée concassée : sable de béton de démolition, sable de brique,…ect.
- Déchets industriel : sable de laitier ; sable d'oxydes de fer, de chromite ; corindon,…ect.

Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros (granulométrie continue). Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides.

La forme des granulats à une influence sur la rhéologie des mortiers fluides. Les coefficients de frottements sont plus faibles entre les granulats roulés qu'entre les granulats concassés, En effet, les granulats roulés permettent de diminuer le risque de ségrégation. Selon Domone **[1]** la différence de résistance entre les mélanges contenant du gravier concassé et du gravier roulé est plus faible pour les MAP que pour les mortiers ordinaires mais il est toujours possible d'utiliser des granulats concassés pour la formulation des MAP.

b. Le rapport Sable/Mortier

Le taux de sable sur mortier est le premier choix avant la formulation des MAP, une grande quantité de sable dans le mélange de mortier influe sur sa rhéologie, ce taux augmente le seuil de cisaillement ainsi que la viscosité plastique **[2],** Ce taux varie d'un chercheur à un autre selon les matériaux utilisés et les critères principales demandées.

Selon OKAMURA **[3]** le volume du sable est fixé à 40% du volume total de mortier par contre Fang et al. **[4]** ont trouvé que, pour la fabrication d'un mortier autoplaçant d'une bonne caractéristique, il est préférable de prendre le rapport Sable/Mortier entre 45 et 48%, quant à BOUKENDAKDJI **[5]** a constaté que le mortier avec un rapport S/M de 0.50 a donné une meilleure fluidité par rapport aux autres mortiers, allant plus loin Khayat et al. **[6]** ont déterminé les quantités optimales en sable capables d'améliorer la fluidité des mélanges de béton en présence d'un agent colloïdal et de superplastifiant. Cette quantité de sable, elle correspondait à un rapport volumique Sable/Pâte de 0,6.

c. La poudre

La poudre est la composante clé du MAP. En plus de sa fonction principale de relier les différents constituants du béton en présence d'eau, la poudre occupe les vides intergranulaire en rendant le matériau plus dense. L'augmentation de son volume a pour but d'améliorer les propriétés du béton aussi bien à l'état frais (étalement, vitesse d'écoulement dans l'entonnoir en V), qu'à l'état durci (résistance et durabilité) **[7]**.

Contrairement au mortiers ordinaires où la poudre est généralement composée d'un ciment Portland seul, les mortiers autoplaçant nécessite l'utilisation des additions minérales pour améliorer ces performances, économiser le cout de production et éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation, donc, la poudre est souvent un composé binaire voire ternaire ou même quaternaire, ciment Portland mélangé avec fumée de silice, laitier de haut fourneau, cendres volantes, filler calcaire….etc.

Selon BACHENE **[8]**, La finesse de la poudre joue un rôle important dans l'amélioration des caractéristiques des BAP. L'augmentation de la finesse de la poudre contribue à l'amélioration de la déformabilité, de l'ouvrabilité, de la résistance à la ségrégation et de la compacité du béton **[9, 10]**. Ozawa et al. **[11]** ont rapporté que des BAP contenant des poudres fines (de grande finesse) présentent des grandes résistances à la ségrégation en raison de la grande quantité d'eau retenue par les grains de la poudre fine. Cependant, l'utilisation des poudres contenant beaucoup des particules fines inferieures à 20µm nécessite un dosage

élevé en SP pour les disperser **[12]**. Noumowe et al. **[13]** ont montré que la quantité des particules fines inferieures à 100µmà un effet significatif sur la capacité de remplissage et la résistance à la ségrégation.

c.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous forme d'une poudre minérale fine s'hydratant en présence d'eau ; il forme une pâte faisant prise qui durci progressivement. Grâce à ses caractéristiques, cet élément permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide, obtenu principalement par la pulvérisation du clinker et du sulfate de calcium hydraté, tous types de ciments conformes la norme SN EN 197-1 **[14]** conviennent pour la fabrication de mortiers autoplaçant.

c.2 Les ajouts minéraux

En raison de l'utilisation d'un dosage important de poudre dans la formulation des mortiers autoplaçant, L'incorporation des ajouts minéraux dans la formulation des mortiers est importante au niveau économique et écologique dont l'incorporation de ces additions minérales comme substituant du ciment (produit plus cher), contribue à réduire le cout de béton et contribue aussi à réduire la production du ciment qui nécessite l'utilisation de grande quantité de combustible.

En général, les additions minérales influencent fortement les propriétés à l'état frais ; elles permettent aussi d'améliorer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons. En raison de leurs petites dimensions, les particules de la poudre se glissent entre les grains plus gros, contribuant ainsi à avoir un squelette solide plus compact et réduisant l'espace libre pour l'eau **[15]**. Cette optimisation de la granulométrie du squelette total, aide aussi à limiter le ressuage du béton et à augmenter la cohésion de l'ensemble. Par ailleurs, les additions minérales réduisent la chaleur dégagée du béton lors de l'hydratation, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.

Le choix d'addition et leur proportion respective utilisée est déterminé selon les exigences de cahier de charges qui détermine les paramètres d'ouvrabilité et de résistances souhaité et les critères de durabilités Exigé, et aussi selon le cout et la disponibilité qui varie d'une région une autre.

d. L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre enté pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis) au-delà des tolérances réglementaires suivantes **[16]**.

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des matières en suspension au-delà de :

- 2 g/l pour les bétons à hautes résistances
- 5 g/l pour les bétons à faibles résistances

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- 15 g/l pour les bétons à hautes résistances
- 30 g/l pour les bétons à faibles résistances

e. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers fluides. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les superplastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs accélérateurs) et les hydrofuges.

Les superplastifiants agissent par adsorption à l'interface solide-eau, ce qui permet aux grains de ciment d'acquérir des charges identiques et créer ainsi un phénomène de dispersion des particules par répulsion électrostatique. Ceci permet de libérer une partie de l'eau qui a été piégée par les grains de ciment floculés et diminue ainsi les frictions intergranulaire. On assistera alors à une amélioration de l'ouvrabilité du béton.

I.1.2 Classification des mortiers

La classification des mortiers est comme suit : **[17]**

a. Classification selon leur domaine d'utilisation

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes :

- ❖ Mortier de pose.
- ❖ Mortier de joints.
- ❖ Mortier pour les crépis.
- ❖ Mortier pour le sol.

- Mortier pour les stucs.
- Pierres artificielles.
- Support pour les peintures murales
- Mortier d'injection.
- Mortier pour les mosaïques.

b. Classification selon la nature du liant

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

- Mortier de ciment portland.
- Mortier de chaux.
- Mortiers bâtards.

c. Classification selon le mode de fabrication

Les mortiers peuvent être :

- préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants, adjuvants compris ;
- préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs prédosés (il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire) ;
- livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi, dont les derniers nés, les mortiers retardés stabilisés, ont un temps d'emploi supérieur à 24 heures.

I.1.3 Différents types des mortiers

a. Mortier pour chape :

Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface. Ils peuvent constituer la finition on y incorpore alors souvent des produits spécifiques. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol. Les chapes doivent présenter une résistance suffisante pour assurer la transmission des charges au support, et parfois résister à l'abrasion ou au poinçonnement (sols industriels).

Adhérente ou flottante, la chape peut également avoir une fonction thermique ou acoustique. Ces ouvrages sont décrits dans le DTU 26.2 [**18].**



Figure1.1 Les mortiers pour chapes.

b. Le coulis :

Le coulis est un mélange fluide, à base de charges fines inférieures à 0,3 mm, de liants hydrauliques et d'adjuvants. Outre les liants classiques, il existe aussi des liants spéciaux pour coulis d'injection.

Les charges sont constituées par des suspensions d'argile, de bentonite (argile colloïdale). Les domaines d'utilisation des coulis sont les remplissages de cavités et fissures dans les roches, les sols ou les ouvrages béton ou maçonneries, le reprofilage du béton, la reconstitution de la protection des armatures, et le rétablissement de l'étanchéité.



Figure1.2 Les mortiers et coulis de réparation.

c. Enduits :

Ce domaine d'application, qui constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers, Rappelons simplement qu'à côté des enduits traditionnels en trois couches décrits dans la norme NF P 15-201(DTU 26.1) **[19]**, se développent aujourd'hui les enduits monocouches

épais, ainsi que les enduits isolants considéré encore comme non traditionnels. Ces produits font l'objet d'une procédure d'avis technique par le CSTB.



Figure1.3 Les enduits.

d. Jointe de maçonnerie :

La construction réalisée en éléments (blocs de béton, pierres de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.

Les mortiers de joints constituent donc un maillon important de la maçonnerie, qui doit être bien étudie et bien mis en œuvre pour assurer la fonction qui lui est dévolue. C'est notamment le cas de la maçonnerie apparente.

La norme XP P 10-202-1 « DTU 20.1.Ouvrage en maçonnerie de petite éléments. Parois et murs. » Fournit des indications sur les dosages préconisés pour les mortiers de jointoiement, ainsi que les préconisations pour leur mise en œuvre.

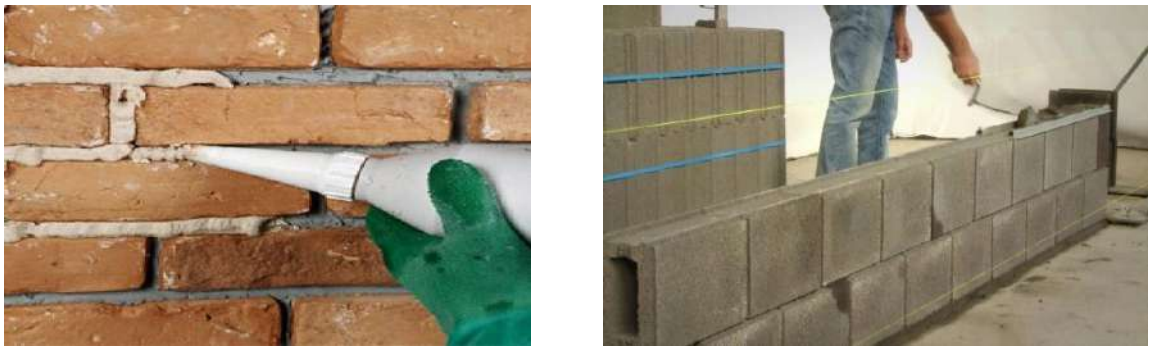


Figure1.4 Le mortier joint de maçonnerie.

e. Mortiers de calage et de scellement :

Mortier en consistance fluide pour le remplissage des vides situées à l'intérieur ou entre des éléments d'ouvrage ou entre des machines et leur structure portante.

Le mortier de calage est à base de ciment, qui a pour effet de transférer les charges de la structure ou de la machine à la fondation, Il assure le remplissage des vides entre la base de la machine ou de la structure et le contact avec les surfaces adjacentes doit être assuré intégralement. La résistance mécanique de ce mortier après durcissement doit être suffisante pour assurer la continuité mécanique entre éléments, La compensation du retrait se fait à la fois sur le plan vertical (pour compenser l'effet de la gravité) et sur le plan horizontal.

Les mortiers de scellement définis par la norme EN 1504-6 **[20]** sont Principalement des coulis à base de ciment avec une force et un contrôle adéquat du retrait, grâce à des résistances à l'arrachement très élevées et la compensation du retrait se fait uniquement sur le plan horizontal ; Ces mortiers permettent de fixer des barres d'ancrage dans des ouvrages en béton fortement sollicités. Ces mortiers sont utilisés généralement pour remplir les vides entre les différents éléments en béton sans transfert de charge structurale, ancrage d'équipements légers (des barres, des boulons et des goujons), combler les vides autour des fenêtres et des portes.

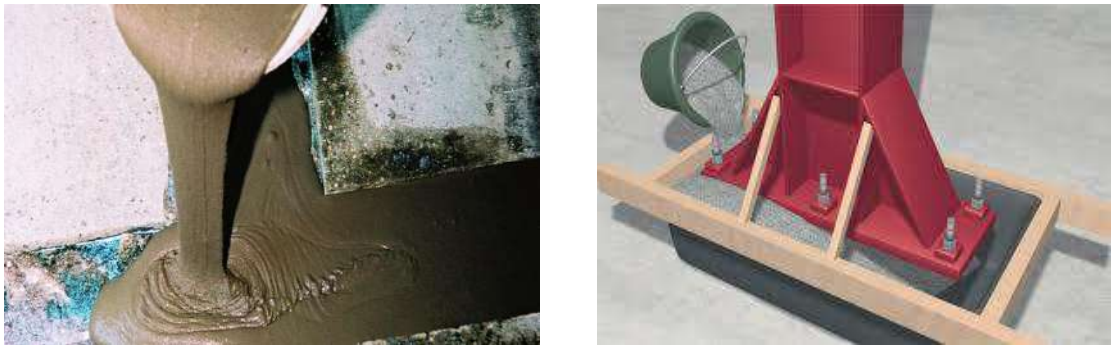


Figure1.5 Les mortiers pour scellements et calages.

F. Mortier de bourrage

Mortier en consistance semi-plastique pour le remplissage d'ouvertures qui ne sont pas totalement confinées latéralement, pour ce type de mortier, le contact avec les éléments adjacents est essentiel et les propriétés d'expansion contrôlée doivent être présentes, ce type de mortiers peut être utilisé où les mortiers de calage ne peuvent être utilisés pour remplir les cavités sous pylônes, rails, profils,... (PTV 556)



Figure1.6 mortier de bourrage.

I.2. Granulats recyclé de béton démolition

La consommation énorme des sables fluviaux en tant que matériaux de construction a inévitablement entraîné de graves impacts écologiques. À cet égard, il sera très utile que des substituts, tels que les sables recyclés produits par le traitement des déchets de démolition des ouvrages en béton, puissent être utilisés pour remplacer les sables naturels fin. Cette partie présente une étude préliminaire et les résultats des recherches achevés sur la faisabilité de la fabrication des matériaux cimentaires avec des sables recyclés **[21].**

I.2.1. Aspect économique et écologique

Le développement dans la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil a provoqué durant les dernières décennies un accroissement considérable dans la consommation de granulats. Depuis l'année 2000, la production nationale des agrégats est en hausse constante. Elle a été multipliée par plus de 13, passant de 4.14 Millions de m^3 en 2000 à 55.3 Millions de m^3 pour l'année 2009 (Figure 1.7) **[21].**

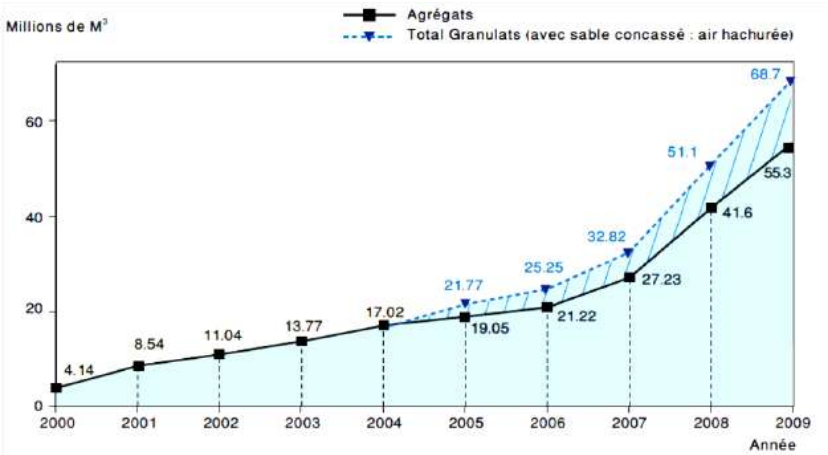


Figure I.7 Evolution de la production des agrégats période 2000-2009.

(Bilan des activités minieres.2008) **[21]**

Pour l'année 2009, 8 wilayas (Bordj Bou Arreridj, Sétif, Mascara, Boumerdès, Constantine, Mila, Sidi Bel Abbés, Boumerdès, et Ain Defla) situées toutes au Nord du pays, ont atteint un niveau de production supérieure à 3 Millions de m^3chacune, totalisant une production de 30.6 Millions de m^3 équivalant à plus de la moitié (55.3%) de la production nationale (Figure1.8) **[21].**

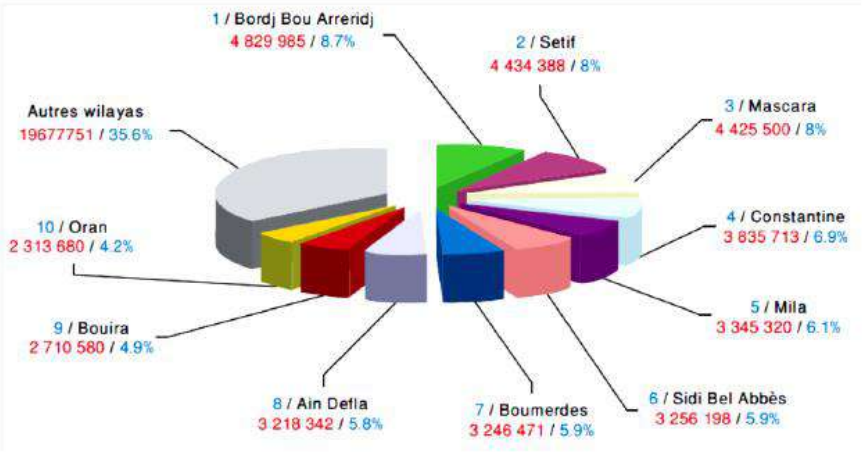


Figure I.8 Productions des agrégats (m^3) pour l'année 2009 [21].

D' un autre côté, les déchets du secteur du bâtiment constituent la plus importante partie des déchets produits dans le monde et leur quantité continue de progresser notamment dans les pays émergents où l'industrie de la construction connaît actuellement un rythme de croissance très soutenu **[22**].

La gestion de ces déchets est une vraie problématique actuelle du secteur qui peut être un moteur pour compenser et réduire les impacts liés à l'extraction et la fabrication de matières premières pour la construction. À l'échelle mondiale, l'Europe produit plus de 500 millions de tonnes de déchets du bâtiment chaque année contre plus de 300 millions aux Etats-Unis et près de 80 millions au Japon **[23**].

En raison de la consommation énorme des granulats naturels et les grandes quantités des déchets de la démolition des ouvrages en béton, de nombreux professionnels se sont intéressées aux déchets provenant de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments comme matières premières dont l'utilisation des granulats recyclés de béton de démolition permet de :

- ✓ Une économie de la ressource naturelle ;
- ✓ La réduction des quantités de matériaux mis en décharge.
- ✓ nécessite souvent moins d'énergie que l'exploitation minière et le transport des matériaux nouveaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

✓ un matériau léger en poids (10 à 15%) par rapport au granulat naturel, ce qui entraîne une réduction du coût des matières.

Dans un écobilan comparatif, l'avantage revient évidemment aux granulats recyclés traités en milieu semi-urbain proche du gisement et des clients. Leur utilisation évite en effet d'une part un transport de matériaux de démolition vers les décharges et d'autre part un transport d'approvisionnement du chantier en granulats depuis une carrière.

La diminution importante de ces transports représente des gains importants en émissions de CO2.

Tam **[24]** a réalisé une étude économique complète en comparant les coûts et bénéfices engendrés par la méthode de production de granulats actuelle avec ceux engendrés par la méthode de recyclage. Il a été démontré que sur le long terme les granulats recyclés sont économiquement bien plus intéressants, mais que le facteur « disponibilité » affecte quelque peu la viabilité de cette méthode. En effet, la quantité de matériaux disponibles est limitée par le nombre de chantiers de démolition locaux, et quand les producteurs de granulats recyclés échouent à fournir la quantité souhaitée, alors les granulats naturels redeviennent la source d'approvisionnement numéro un.

Les granulats recyclés sont, d'une façon générale, plus compétitifs partout en Europe, excepté en France où la différence provient essentiellement du fait que les sources d'approvisionnement en granulats naturels sont plus importantes que dans le reste de l'Europe. La tendance est récapitulée dans le Tableau 1.1 :

Pays	Prix moyen des granulats recyclés (1), €/t	Prix moyen des granulats naturels (2), €/t	Rapport (1) / (2)
France	4.4 – 9.0	3.6 – 6.5	1.2 – 1.4
Espagne	3.0	6.0 – 14.4	0.2 – 0.5
Belgique	2.4 – 7.2	2.4 – 10.8	0.7 – 11
Rayaume-uni	3.3 – 8.4	4.4 – 15.2	0.5 – 0.6
Allemagne	4.8 – 8.4	6.5 – 8.8	0.7 – 0.95
Pays-bas	8.7	11.4	0.76

Tableau 1.1 Prix comparés des granulats recyclés et granulats naturels dans différents pays (UEPG, 2005) **[25].**

I.2.2 .Elaboration des granulats recyclés

L'élaboration des granulats recyclés est réalisée dans des installations fixes ou mobiles qui comprennent les mêmes grandes phases d'élaboration que les installations pour les granulats

naturels (concassage, criblage et éventuellement lavage). Un prétraitement spécifique doit cependant être exécuté. Il consiste à réaliser le cisaillage des ferrailles et la réduction des plus gros éléments.

Le concasseur à percussion présente une meilleure réduction de la granulométrie (avec moins d'éléments fins) et facilite la séparation des armatures du béton mais l'usure du matériel est importante et la granulométrie d'entrée limitée [Molin et al. 2004]. Il permet également d'obtenir une meilleure cubicité du matériau sortant [Québaud, 1996] **[26].**



FigureI.9 : déconstruction et élaboration déchets.

Les différentes phases d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition sont **[27]** :

- Sélection, stockage et traitement des produits bruts ;
- Préparation des matériaux avant concassage : cette étape consiste à réduire les plus gros éléments à l'aide d'un brise roche hydraulique (BRH) et à retirer les impuretés les plus grosses
- Tri manuel
- Déferrage électromagnétique ;
- Concassage et criblage : étape destinée à éliminer les matériaux de faibles caractéristiques ;
- Concassage secondaire éventuel de la fraction supérieure issue du concassage primaire ;

- Stockage ;
- Analyses éventuelles avant utilisation.
- Lavage, si le produit finale a un taux de fine élevé.

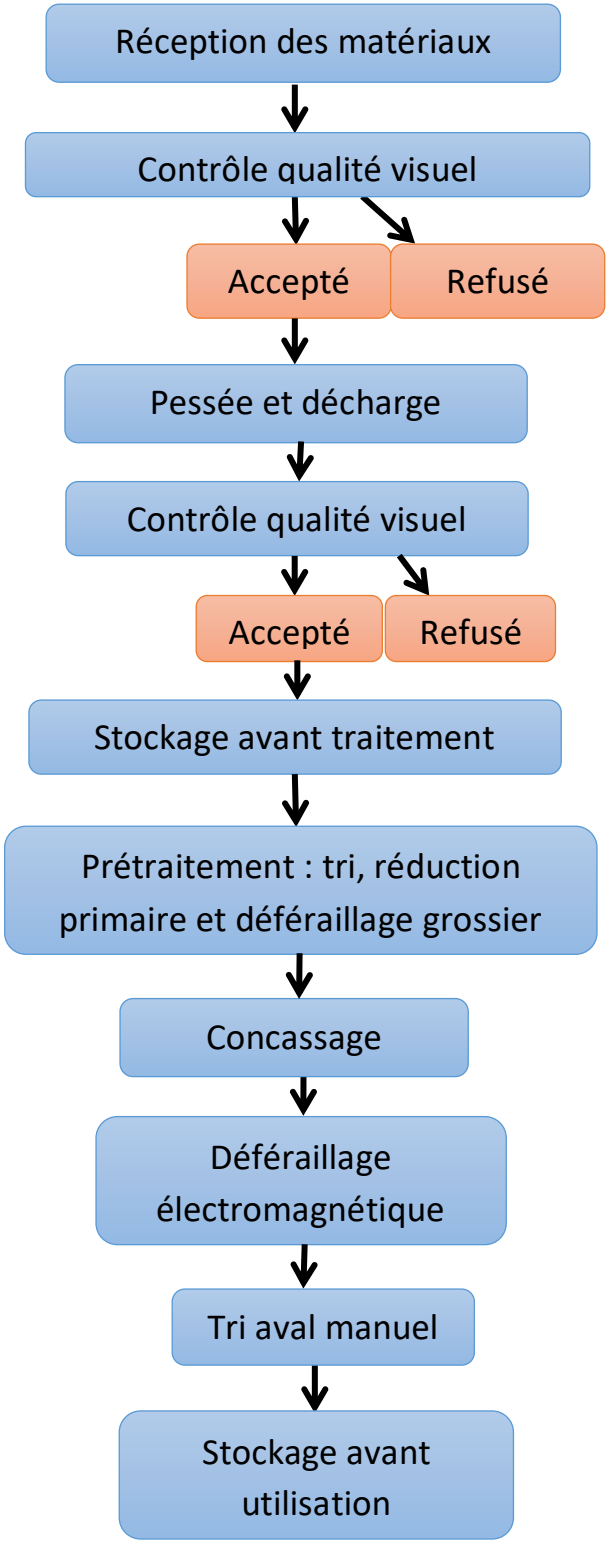


Figure I.10 : Schéma général de production de granulats recyclés. [**28]**

I.2.3 .Utilisation des granulats recyclés

Depuis plus de 20 ans, la filière de tri et valorisation des déchets du BTP génère des granulats recyclés majoritairement pour les Travaux Publics. Si aujourd'hui ces matériaux ne sont pas encore normalisés, une note d'information éditée par l'IDRRIM en 2011 prescrit l'utilisation des graves recyclées en technique routière à travers une classification basée sur un retour de nombreuses expériences régionales. À l'inverse, l'incorporation de granulats recyclés dans les bétons est nettement moins aboutie même si les normes EN 933-11 **[29]** et EN 12620 **[30]** définissent clairement des méthodes de tri et des catégories de nature pour les gravillons recyclés. Cependant aucune disposition n'est définie pour l'emploi de tels matériaux dans la norme EN 206-1 **[31]**. Dont un retard du secteur du Bâtiment par rapport aux Travaux Publics et Génie Civil dans la gestion et la valorisation des déchets de chantier.

a- Les routes et le VRD (Voiries Réseaux Divers)

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches figure 29 **[27]**, Elles sont surmontées éventuellement d'une couche de liaison pour l'amélioration des performances, puis d'une couche de roulement adaptée aux trafics (Classe du trafic définie par la moyenne journalière des poids lourds par voie de circulation).

Quel que soit le niveau, les granulats sont utilisés dans l'ensemble de ces couches. Ils doivent répondre à des critères de qualité liés à la solidité des ouvrages et à la sécurité. Ces exigences sont spécifiées dans des normes françaises (NF) et européennes (EN).

Les granulats de recyclage peuvent être utilisés dans les couches de forme et les couches d'assises, ainsi que sur les accotements des chaussées (figureI.11) **[32]**.

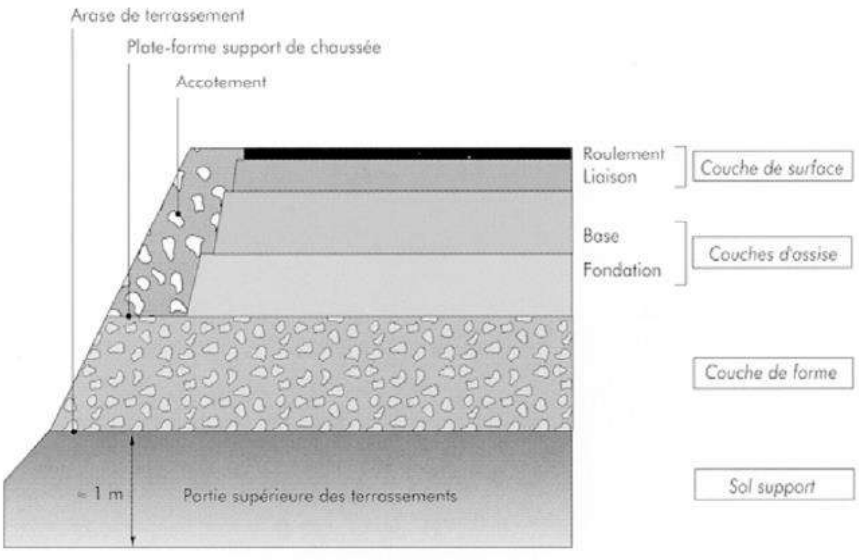


Figure I.11 : Schéma d'une coupe de chaussé. **[33]**

b. Utilisation détournée – Eléments de parement

Outre l'utilisation de matériaux en réutilisation directe, ou de matériaux issus d'un processus de recyclage, il est possible de développer une conception architecturale et technique s'inscrivant dans une démarche de récupération et de réutilisation directe de déchets valorisable(figure I.12).



Figure I.12 : Schéma représentatif d'une réutilisation directe de déchets de démolition. **[33]**

c. Application en construction

L'utilisation des granulats recyclés et précisément les granulats fins dans les constructions restent limités à cause d'absence de normes, et cela est dû à la continuité des recherches sur ce domaine, la figure (figure I.13) présente un voile construit à base des granulats recyclés



Figure I.13 : Voile de béton recyclé.

d. Application en sous-fondation de voirie



Figure I.14 : Sous fondation de chaussées.

e. Application en fondation et sous-fondation de bâtiments industriels et de services



Figure I.15 : Couche de fondation d'un hangar.

f. Application en fondation, sous-fondation et fondation d'infrastructures sportives



Figure I.16 : Couche de fondation.

I.2.4. Caractéristique des granulats recyclés

La présence du mortier résiduel attaché au granulat original affecte plusieurs propriétés du granulat. Les spécifications des caractéristiques des granulats recyclées sont détaillées dans cette section

I.2.4.1 Composition des granulats recyclés

Les granulats recyclés de béton diffèrent des granulats naturels par leur composition. En effet, le granulat recyclé de béton est un matériau composite (figure I.17), dont les deux constituants sont **[34], [35], [36]:**

- des granulats naturels concassés partiellement
- de la pâte de ciment hydraté concassée, enrobant les granulats naturels.
- Le ciment anhydre qui n'a pas subi une hydratation dans sa première utilisation



Figure I.17 : Compositions des granulats recyclés de béton _Source : **[34]**

I.2.4.2 Densité des granulats recyclés

La densité est l'un des paramètres fondamentaux des granulats. Elle est aussi importante pour la composition des mélanges de béton et influe sur plusieurs propriétés du béton résultant. La densité des bétons de GBR est inférieure à celle des bétons avec des granulats naturels. Cela est dû à l'existence de la pâte de ciment poreuse et moins dense dans les granulats recyclés. En raison de leur origine et de leur taille, les GBR peuvent avoir des densités différentes en fonction de la quantité de la pâte du mortier attaché. La densité est plus élevée pour les GBR qui ont moins de mortier attaché, comme il est mentionné par le graphe suivant (figure 1.18) **[37].**

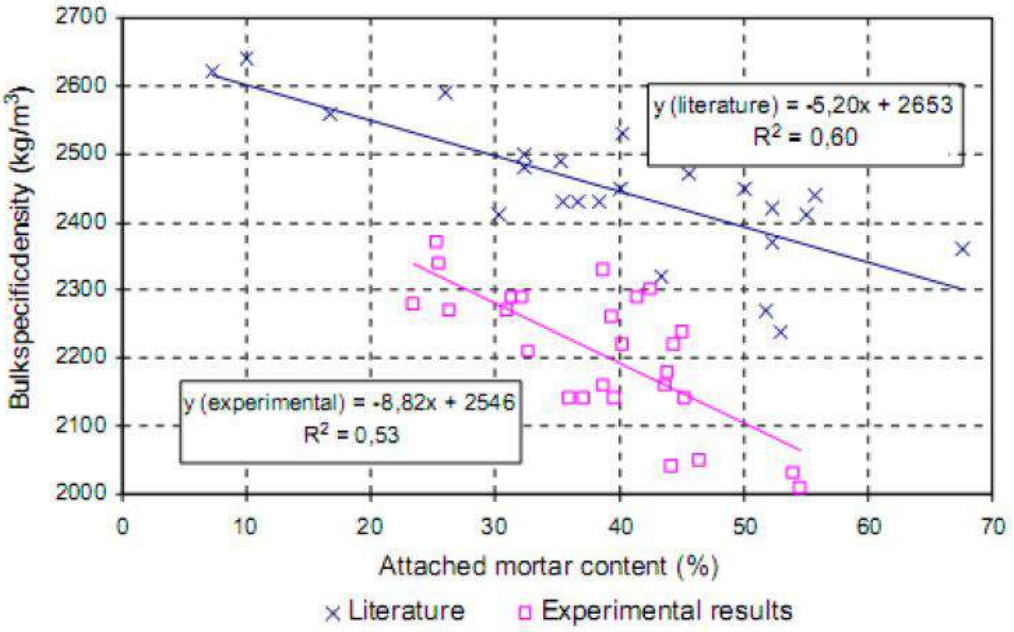


Figure. 1.18 : Relation entre la densité et le taux de mortier résiduel **[37].**

I.2.4.3 Zone de transition interfaciale

Il n'est pas tout à fait exact de considérer le matériau béton comme étant un composite à deux phases ; granulat et matrice cimentaire. En réalité, la pâte de ciment n'est pas complètement homogène et sa microstructure est modifiée à proximité des granulats. Cette zone est généralement appelée « zone de transition interfaciale » ou ITZ (Interfacial Transition Zone). Bien que la zone de transition à l'interface granulat-pâte soit relativement étroite, elle occupe une proportion relativement grande du volume de la pâte de ciment. Pour une zone de transition de 40 μm d'épaisseur, ce volume se situe entre 20 % et 40 % du volume de la matrice cimentaire **[38].** Cette zone de transition a beaucoup d'influence sur les propriétés du béton et représente le maillon faible et la source de faiblesse pour le béton **[39].** Pour cette raison, la zone de transition est généralement la cause de rupture du béton à des contraintes inférieures à la résistance individuelle de ses deux composantes (matrice de mortier et granulat grossier).

En particulier dans le béton de granulat recyclé, il y a plus d'une zone de transition par rapport au béton de granulat naturel. La Figure I.19 (gauche) montre une vue en coupe d'un granulat recyclé. Cette figure indique la vieille zone de transition entre le granulat d'origine et le mortier résiduel, ainsi que la zone de transition entre le mortier résiduel et la nouvelle matrice de mortier. Par ailleurs, la Figure I.19 (droite) présente aussi la zone de transition

pour un granulat naturel conventionnel. La configuration dans ce cas ne dispose que d'une seule zone de transition entre le granulat et le nouveau mortier [Otsuki et al, 2003]. **[40]**

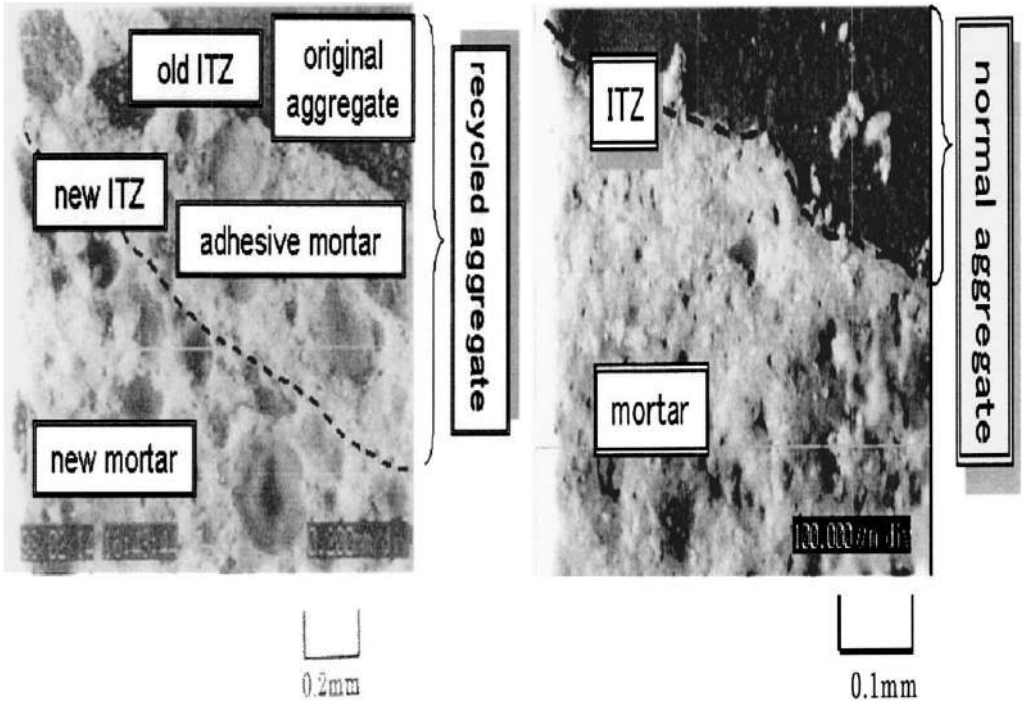


Figure I.19 Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite) [Otsuki et al. 2003]

I.2.4.4 Porosité et absorption

Les granulats recyclés de bétons ont comme caractéristique une forte capacité d'absorption. Cette propriété reste vraie quelle que soit la provenance du béton parent. **[41]. [34]. [42**].

Ce critère influe considérablement sur le comportement rhéologique des bétons frais. Les compositions des bétons de GRB nécessitent une quantité d'eau supplémentaire pour l'obtention d'une ouvrabilité plastique similaire à celle d'une composition de béton de granulats naturels. Dans toutes les études consultées, l'absorption des granulats recyclés est beaucoup plus grande que celle des granulats naturels. Les valeurs d'absorption des granulats recyclés sont comprises entre 3% et 10%, alors que pour le granulat naturel cette propriété est entre 1% et 5% **[24]**. Les granulats recyclés avec ou sans particules de faible densité (par exemple bois) ont une absorption avec 1,63 et 1,68 fois plus d'eau que pour le granulat naturel, en raison de la porosité élevée du mortier résiduel d'autres chercheurs ont rapporté des valeurs d'absorption dans la gamme de 2,10 % à 8,79% pour différents types de granulats recyclés. **[40]**

Cette absorption est bien évidemment la conséquence de la présence de la pâte de ciment, mais plus particulièrement de sa structure alvéolaire **[41]**. En effet, la pâte de ciment est

reconnue pour être un matériau poreux. Les interstices ont tendances à capter l'eau et à la retenir. Il n'y a donc pas suffisamment d'eau libre pour hydrater les grains de ciment.

La porosité des granulats est généralement corrélée à leur capacité d'absorption.

La forte capacité d'absorption des granulats recyclés est liée une forte porosité de ce matériau. Le taux de ciment dans le béton parent influe également sur la porosité des granulats recyclés. Celle-ci augmente significativement avec l'augmentation de la quantité de pâte de ciment **[43].**

Grâce à des analyses microscopiques, Tam et al. ont décrit la géométrie de la porosité de granulats recyclés. Des pores sont présents entre les granulats naturels et la pâte de ciment selon eux. Ces pores fragilisent le matériau et limitent l'emploi de ces granulats recyclés dans la fabrication des bétons [**44].** Ces pores engendrent une forte porosité des bétons de granulats recyclés **[44].** L'absorption des bétons recyclés augmente proportionnellement avec le taux de granulats recyclés, tandis que la densité des bétons décroît légèrement. **[45].**

I.2.4.5. fines de sable recyclé

Les fines, tout comme les éléments grossiers des granulats recyclés, sont constituées de granulats naturels concassés (ici en l'occurrence des fines provenant du concassage des granulats naturels) et de pâte de ciment relativement friable (des fines issues du ciment hydraté). **[46]**

Il serait ainsi intéressant d'identifier la part qui provoque la rigidification importante du béton recyclé : les fines de granulats naturels concassés ou fines de pâte de ciment **[46].**

L'utilisation de fines recyclées dans la formulation des bétons est souvent limitée. Les travaux de Shui et col. [Shui et al. 2008] montrent que la réactivité des fines recyclées peut être améliorée en utilisant un traitement thermique. La réhydratation des fines recyclées traitées est obtenue avec la formation des gels de C-S-H, d'ettringite et de chaux. Cependant, les caractéristiques de la microstructure de ce produit réhydraté sont faibles par rapport à la pâte cimentaire. **[47]**

I.2.5. Règlementation

a. Circulaire sur la gestion des déchets

Les déchets du bâtiment et des travaux publics sont soumis aux dispositions générales sur l'élimination des déchets reprises dans le Code de l'Environnement (article L. 541-1 à L. 541-50). Cet article définit le rôle et les responsabilités des producteurs de déchets de chantier par rapport à leur élimination.

En effet, tout producteur de déchets de chantiers est responsable de leur bonne élimination. Il doit, entre autres veiller à limiter l'enfouissement aux seuls déchets ultimes, à favoriser leur valorisation par réemploi ou par recyclage. **[46]**

« Enfin, la circulaire interministérielle du 15 février 2000, relative à la planification de la gestion des déchets de chantiers du BTP, a assigné les objectifs suivants :

- assurer le respect de la réglementation (fin des décharges sauvages, application du principe du « pollueur-payeur »),
- mettre en place un réseau de traitement bien réparti sur le territoire et dont les coûts seront intégrés et clairement répartis,
- réduire les déchets à la source,
- réduire le stockage en développant la valorisation et le recyclage,
- développer l'utilisation des matériaux recyclés,
- impliquer les maîtres d'ouvrages publics. »

b. Les normes granulats

Les normes européennes sur les granulats traitent des granulats recyclés dans les normes d'essais et dans les normes de spécifications. La plupart des normes d'essais sur granulats naturels s'appliquent également aux granulats recyclés, mais certaines normes d'essais ont été développées spécifiquement pour répondre aux problématiques particulières des granulats recyclés.

La classification des constituants des granulats recyclés (NF EN 933-11, 2009) permet de classer les constituants principaux (béton, granulats non liés, brique ;…) et les polluants (bois, verre, plastique…) en fonction de leur pourcentage en masse. Pour les éléments légers (flottants), ceux-ci sont mesurés en volume (cm^3/kg). Cette norme vient en remplacement de la classification pétrographique des granulats naturels (Gentilini, 2009).

La teneur en sulfates solubles dans l'eau (NF EN 1744-1, 2011) a été développée dans l'article 10.5 de la norme NF EN 1744-1 sur la base d'un essai préexistant. Elle permet de déterminer la présence de plâtre dans les granulats recyclés.

La teneur en chlorures solubles dans l'article (NF EN 1744-5,2007) permet de prendre en compte les chlores présents en surface du granulat recyclé et ceux présents dans la phase mortier du granulat recyclé.

Certains constituants des granulats recyclés sont susceptibles de modifier le temps de prise du béton (accélération ou retard) ; une norme d'essai a été mise au point (NF EN 1744-6, 2007) pour quantifier ces modifications.

En ce qui concerne les autres caractéristiques des granulats, la plupart des méthodes de mesure doivent être examinées pour vérifier s'il est nécessaire de les adapter aux granulats recyclés. C'est le cas pour la plupart des caractéristiques liées à la durabilité (gel/dégel, alcali-réaction, retrait au séchage,…) mais aussi d'autres essais plus classiques comme l'analyse granulométrique, le Los Angeles, l'absorption d'eau,… Schouenborg, 2004). **[26]**

I.2.6. Effet de granulats recyclés de béton de démolition sur les propretés de matériaux cimentaires

a. Etat frais

Les résultats de recherche sur l'effet de sable recyclée sur les bétons et mortiers fluides sont différentes entre une perte et une amélioration d'étalement, et cela du a la forte absorption de ce type de sable et à la méthode d'ajout de cette quantité d'eau absorbé (soit par la saturation de surface ou par l'ajout de la quantité d'eau absorbé lors du malaxage).

Gesoglu et al. Qu'ont étudié l'effet des agrégats fins et grossiers sur les bétons autoplaçant ont conclu que le remplacement total d'un sable de rivière (Mv=2.4, Ab=2.1%, Mf= 3.7) par un sable recyclé de béton (Mv=2.1, Ab=10.9%, Mf= 3.5) a engendré :

- Une diminution du taux du superplastifiant de 1.1% à 0.8% pour un E/c de 0.3
- Une diminution du taux de superplastifiant de 0.65% à 0.38% pour un E/C de 0.43

Et dans les deux cas le sable est utilisé dans un état de surface saturé, ces résultats sont confirmé par Leite et al. **[47]** qui a conclu que l'utilisation des agrégats fins recyclés pourrait également avoir contribué à améliorer la mobilité des mélanges de béton.

Dans le cas des bétons autoplaçants, Erhane et al.**[48]** ont remarqué que toutes les caractéristiques à l'état frais ont été améliorées par l'utilisation de sable recyclé et précisément dans le cas d'utilisation que des agrégats fins recyclés (figure I.20), dont l'étalement est de 700, 710, 715, 740 et 760mm pour les taux de substitutions de 0, 25,50,75 et 100% de sable recyclés où ces mélanges sont classés comme SF2 – SF3 selon EFNARC **[49].**

Dans une recherche plus approfondi d'Erhane et al., Le comportement du seuil de cisaillement pour tous les mélanges observé montre que l'augmentation des niveaux de remplacement de sable recyclé réduit progressivement la résistance à l'écoulement des mélanges contenant 0% de taux de remplacement des sables recyclés. La résistance à l'écoulement la plus faible est observée pour un niveau de remplacement de 100% de FRCA.

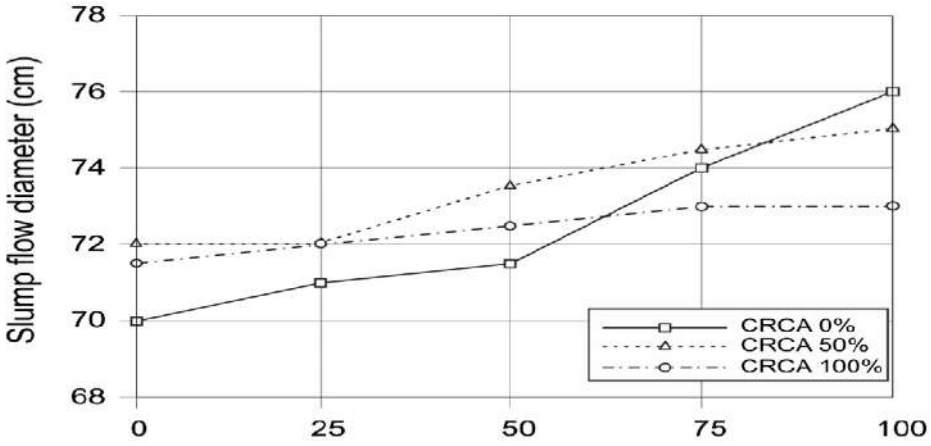


Figure I.20. Etalement des BAP en fonction du taux de substitution des sables

Kou. 2009**[50]** L'affaissement des mélanges de béton FRA a été augmenté avec une augmentation de la teneur en FRA. Cela était dû au fait que les FRA avaient des valeurs d'absorption d'eau plus élevées que celles du sable de rivière, rendant plus d'eau libre disponible pour augmenter la fluidité du béton frais.

Kou. 2009 **[50**] À une valeur d'affaissement fixe, l'utilisation de FBA et de FRA a permis de réduire les besoins en eau des mélanges de béton.

Le mélange HPC avec des agrégats recyclés répond aux exigences initiales d'affaissement, Cependant, une perte d'affaissement élevée est enregistrée après une heure en raison de la forte absorption d'eau des agrégats recyclés **[51,52].**

Vinay Kumar. 2017 **[53]** Contrairement aux résultats précédents, La substitution du 20% de sable naturel par un sable de béton recyclée demande une augmentation de dosage de superplastifiant de 0.64% à 1% contrairement au gravier recyclée qui a conservé le même dosage en superplastifiant.

Jiang et al. **[54]** Dans les UHPCC, l'ouvrabilité du mélange dépend fortement de l'efficacité du réducteur d'eau. Wang et al. ont détecté une diminution de la fluidité avec la diminution du rapport w / b ou l'utilisation de superplastifiant (SP) lorsque le rapport w / b est supérieur à 0,18, et au-delà de laquelle la quantité de SP n'a qu'un effet négligeable sur la limite d'élasticité (Wang et al. 2017). La haute efficacité du réducteur d'eau est en mesure de compenser la possibilité réduite de maniabilité lorsque des sables recyclés sont utilisés. En d'autres termes, l'effet négatif lié à l'ouvrabilité du mélange dû à l'utilisation de sables recyclés pourrait être minimisé.

Concernant la densité des mélanges à base de granulats recyclés, la totalité des recherches confirment que l'utilisation des sables recyclée diminue la densité des mélanges à l'état frais.

A titre d'exemple, Erhane et al **[48].** ont confirmé que La densité des BAP a l'état frais est de 2360, 2340, 2310,2280 et 2260 kg/m3 pour un taux de substitution de sable naturel par un sable recyclé de 0, 20, 50, 75 et 100% et cela est justifiée par la présence de l'ancien mortier poreux dans les agrégats recyclées (figure I.21).

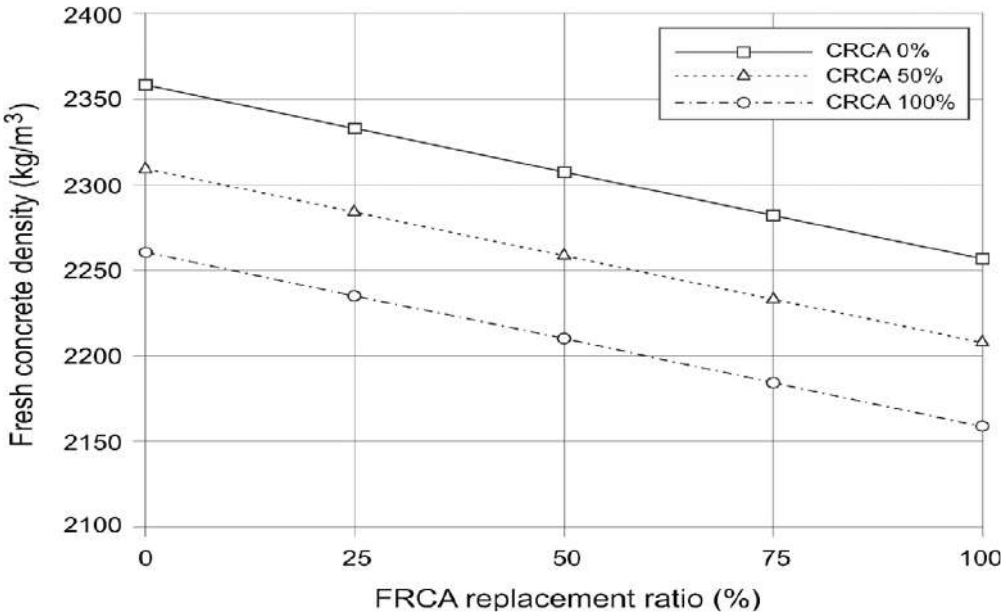


Figure I.21 La densité a l'état frais des BAP en fonction des taux de sable

b. Etat durci

Jiang et al. **[54]** Les résistances à la compression des CCPUH avec le sable recyclé sont similaires à celles du mélange de référence avec uniquement du sable naturel (figure I.22). Lorsque le pourcentage de remplacement du sable recyclé est inférieur à 50%, il se produit même une légère augmentation de la résistance à la compression des UHPCC**.**

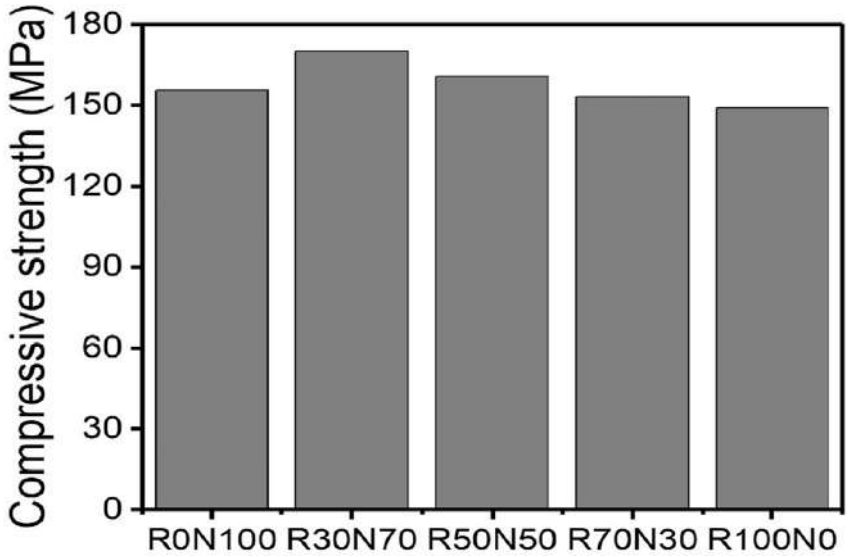


Figure I.22. La résistance à la compression en fonction de taux de substitution de sable naturel (N) par le sable recyclé **[54].**

Tahar et al. **[55]** ont aussi pu obtenir un béton de faible densité et de résistance adéquate avec 30% de sable recyclé.

Safiuddin et al. **[56]** ont déclaré que la diminution maximale de la résistance à la compression sur 28 jours due à l'incorporation de PR n'était que de 12,2%, Ces résultats ont été corroborés par Solyman **[57]**, qui a constaté une réduction de la résistance à la rupture par fente allant jusqu'à 18,8% dans le béton avec 70% d'agrégats fins recyclés par rapport au béton de référence.

Kou, 2009**[50]** L'utilisation de ce type de sable n'a pas toujours données de bonne caractéristique mécanique au béton. Selon Kou et al. Avec un rapport E / C fixe, la résistance à la compression du béton FRA diminuait à tous les âges avec une augmentation des teneurs en FRA. Cela peut être dû à la forte teneur en eau libre initiale utilisée dans les mélanges rendus saignants et à une liaison interfaciale plus faible entre les agrégats et les pâtes de ciment.**]**

Pour la résistance à la flexion, Jiang et al. **[54]** ont constaté que la résistance à la flexion des CCPUH montre une tendance similaire à celle de la résistance à la compression. En règle générale, l'incorporation du sable recyclé n'a pas d'incidence négative sur la résistance à la flexion des CCPPS, à l'exception d'un pourcentage de remplacement de 100%. Le matériau atteint une résistance maximale à la flexion de 35,9 MPa lorsque le pourcentage de remplacement du sable recyclé est de 50%. Ces résultats impliquent qu'un mécanisme plus complexe pourrait contrôler la dépendance de la résistance à la flexion des CCPUH sur le pourcentage de remplacement variable du sable recyclé.

Une légère réduction de la résistance à la traction est observée à 1, 3,7, 14, 28, 56 et 90 jours par Ajdukiewicz et Kliszczewicz **[58]** avec Remplacement à 100% des CRCA et FRCA par NCA et NFA respectivement

c. Durabilité

Jiang et al. **[54]** En pratique, la surface spécifique influe directement sur la demande en eau et par conséquent augmente la quantité de liant dans un rapport poids / largeur défini avec l'augmentation de la surface spécifique. Si la même fraction de liant est maintenue, l'eau libre dans la pâte de ciment augmente, ce qui entraîne une augmentation de la porosité des mélanges [112]. En conséquence, la porosité typique des composites à base de ciment conventionnels peut même dépasser 30% [113]. Pour cette raison, l'incorporation de sables recyclés sous forme d'agrégats fins peut avoir des effets négatifs importants sur la durabilité

des mélanges, tels que l'aptitude au travail décédée et la résistance réduite et l'absorption d'eau en raison de la présence de particules poreuses et éparses.

Les résultats des tests de résistivité et de pénétration de chlorure indiquent une performance satisfaisante des mélanges HPC contenant 100% de CRCA et de FRCA **[51].**

I.3. Laitiers de haut fourneau

I.3.1 Définition

Le laitier du haut fourneau est un coproduit de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux. Toutes les impuretés contenues dans le minerai de fer et dans le coke se trouvent dans le laitier de haut fourneau. On ajoute des agents fondants dans la charge du haut fourneau pour obtenir une composition chimique globale des impuretés qui reste dans une zone particulièrement bien définie du diagramme SiO2 – CaO – Al2O3. Zone où la température de fusion de ces trois oxydes est parmi les plus basses. Le laitier est formé essentiellement de silicates et d'aluminosilicates de calcium et d'autres substances minérales.

Les laitiers ont des propriétés très différentes suivant la composition chimique, et l'état plus au moins cristallisé, où plus au moins vitreux (teneur en verre) résultant du traitement effectué, et suivant la vitesse de refroidissement les laitiers de haut fourneau acquièrent des propriétés très différentes, selon le mode de refroidissement adopté, on distingue deux formes minéralogiques différentes de laitier :

- **le laitier cristallisé** obtenu par refroidissement lent : lui à une structure minéralogique cristalline stable et son hydraulicité si elle existe n'est que modeste .Son utilisation découle de ses propriétés, c'est un granulat. Cette différence, du point de vue cristallographique et chimique conditionne les propriétés des matériaux obtenus et donc leur utilisation.

- **le laitier granulé** (vitrifié) : obtenu par refroidissement rapide par trempe, possède une structure vitreuse riche en énergie lui conférant une hydraulicité latente (figure I.23), c'est-à-dire qui présente des propriétés hydrauliques lorsqu'il a subit une activation convenable.



Figure I. 23. Laitier cristallisé et laitier vitrifié (granulé) de haut fourneau

I.3.2 Laitier granulé de haut fourneau

C'est un résidu minéral de la préparation de la fonte dans les hauts fourneaux à partir de minerai et du coke métallurgique **[16]**. La fusion du minerai dans les hauts fourneaux provoque la séparation gravitaire de la fonte liquide (en partie inférieure) et un résidu surnageant, également liquide, appelé laitier en raison de sa couleur claire (lorsqu'il est à température ambiante) **[**F**.** Larrard,]. Il sort du trou de coulée à une température, de l'ordre de 1500 C° **[16].** À sa sortie du haut fourneau, il est trempé brutalement par déversement dans des bassins remplis d'eau où il se disperse en grains poreux de diamètre 1 à 5mm : c'est le laitier granulé. Il se trouve donc dans un état thermodynamiquement instable (vitreux) et manifeste des propriétés hydrauliques **[**110]. Sans la trempe, les minéraux cristallisent et deviennent presque insolubles dans l'eau **[**F. Larrard,].

Le laitier contient de la chaux (45 à 50 %), de la silice (25 à 30 %), de l'alumine (15 à 20%) et 10% environ de magnésie oxydes divers et manganèse **[**111**]**. Ce laitier constitue par lui-même un véritable liant. Toutefois la prise est trop lente ; aussi pour remédier à cet inconvénient on lui ajoute une base en guise de catalyseur (ex : chaux). Or le ciment Portland libère de la chaux en s'hydratant ce qui montre bien l'intérêt de l'utilisation du laitier comme ajout au ciment Portland **[**110]**.**

La norme ASTM C 989 classifie le laitier selon une échelle ascendante de degrés de réactivité (degrés 80, 100 ou 120). Le degré d'un LGHF est fonction de son indice d'activité, soit le rapport entre la résistance à la compression de cubes de mortier composés d'un mélange à 50% de LGHF et celle de cubes de mortier incorporant un ciment de référence.

La pâte de ciment au laitier durcie présente une moindre quantité de chaux (portlandite), par rapport à celle issu de l'hydratation du ciment Portland seul. Son hydratation, qui se traduit par le développement de résistances mécaniques est moins rapide que celle du Portland surtout dans sa période initiale. Elle dégage parallèlement moins de chaleur et retient moins bien l'eau de gâchage **[59].**



Figure I.24. Granulation du laitier de haut fourneau d'El hadja

I.3.3. Méthode de granulation du laitier

Les laitiers granulés de hauts fourneaux sont obtenus dans des installations de granulation soit humides, demi sèches ou sèches **[60,61]** :

I.3.3.1. Voie humide

Si la granulation est faite par voie humide, la phase vitreuse est dominante, elle atteint de 40 à 95 %. Mais les laitiers contiennent alors une quantité d'eau jusqu'à 40 % (ce qui explique l'utilisation des laitiers granulés par voie humide pour la production des ciments) rend ces derniers plus onéreux à cause de la dépense sensible en combustible nécessaire à la dissociation des laitiers (jusqu'à 80 Kg de combustible théorique pour 1 tonne de granulat sec). A l'heure actuelle, la qualité des laitiers granulés obtenus par voie humide est supérieure à celle des laitiers granulés obtenus par d'autres méthodes.

I.3.3. 2. Voie demi – sèche

Les meilleurs indices techniques et économiques sont obtenus pour les laitiers par voie demi – sèche. Cette méthode consiste à refroidir le laitier liquide d'abord par l'eau puis à l'air.

Le contenu de l'eau dans les laitiers granulés par voie demi – sèche est de 5 à 10 %. Pour réaliser cette méthode on se sert de granulateurs à tambours, des percuteurs hydrauliques et des broyeurs de granulation.

I.3.3. 3. Voie sèche

Lorsque la granulation est faite par voie sèche, le fellet du laitier fondu se trouve brisé par un fort courant d'air ou de vapeur en gouttes menues qui sont ensuite refroidies à l'air. Un laitier granulé par cette méthode contient de 0 à 5 % d'eau.

I.3.4. Composition chimique

D'après leur composition chimique, les laitiers de hauts fourneaux sont proches du ciment portland. Ces laitiers se composent principalement de quatre oxydes : CaO, SiO2,

Al2O3 et MgO (90 à 95 %), Ainsi le calcium, l'aluminium et le magnésium sont des éléments qui favorisent la vitrification des laitiers **[62],** et on sait que l'état vitreux est le plus actif chimiquement. D'autres travaux **[63 et 64]**. ont montrés l'influence non négligeable des éléments mineurs tels que P2O5, MnO, Na2O et K2O sur l'évaluation de l'activité hydraulique des laitiers, donc La composition chimique est un paramètre déterminant de la réactivité des laitiers, qui induit d'ailleurs beaucoup d'autres paramètres.

Il est à noter que les compositions chimiques et minéralogiques des laitiers peuvent varier dans de larges limites **[65],** suivant :

- La nature du minerai
- La composition du fondant (calcaire)
- L'espèce du métal coulé
- Le caractère des processus technologiques
- Les combustibles et les conditions de son brûlage
- Les conditions de refroidissement du laitier fondu

Dans le tableau suivant (tableau I.2) des exemples de la composition chimique des laitiers de haut fourneau de différents pays producteurs de fonte **[66, 67 et 68].**

Oxydes	Teneur en %						
	Algérie	Australie	Allemagne	Afrique/sud	Canada	France	Japon
SiO_2	40.1	35.8	31.5	34.2	35.6	33.5	31.2
CaO	40.2	41.1	36.6	39.4	38.8	42.2	37.4
Al_2O_3	6.0	16.2	16.0	10.4	07.8	13.3	16.2
MgO	4.7	2.65	10.1	11.6	11.5	6.0	8.46
SO_3, S*	0.15*	1.52	2.36	2.09	4.36	0.94	3.03
FeO	2.0	-	-	-	0.11	12.4	0.05
MnO	2.64	1.63	0.47	1.26	0.60	2.64	0.65
Cr_2O_3	-	-	-	-	0.01	-	0.01
TiO_2	1.16	-	1.08	0.39	0.27	0.55	1.95
Na_2O	-	-	0.90	0.25	0.27	0.39	0.64
K_2O	0.70	1.43	0.77	0.50	0.43	0.70	0.47
Total	97.6	100.3	98.9	100.0	99.6	100.1	100.2

Tableau I.2 - Composition chimique du laitier en % **[66,67 et 68].**

I.3.5. Composition minéralogique

Dans un haut fourneau, le minerai de fer est réduit au moyen de coke, en fer métallique, tandis que la silice et l'alumine se combinent avec la chaux et le manganèse pour former un laitier fondu qui se ressemble au-dessus de fer en fusion, au fond du haut fourneau. Le fer dissout lui-même certains constituants en une forme réduite, notamment le silicium, le manganèse et le soufre. La réparation du soufre entre le fer et le laitier est importante. Pour favoriser la dissolution du soufre dans le laitier, on augmente soit la température soit la teneur en CaO du laitier, cette dernière augmentation entraîne en tous cas un accroissement de la température pour maintenir la fluidité **[69].** Dans ce cas, il est possible d'utiliser un laitier liquide avec une teneur en chaux beaucoup plus faible et l'opération s'appelle alors : « changement d'acide », ce qui signifie que le laitier est moins basique que dans le traitement normal **[70].**

Les assemblages probables de minéraux formés par les quatre constituants principaux CaO, SiO2, Al2O3 et MgO, dans la limite des proportions caractéristiques des laitiers, ne peuvent pas être prédits avec certitude, parce que le système quartenaire n'a pas encore été étudié complètement. Donc on s'est contenté uniquement du système ternaire CaO, SiO2 et Al2O3, d'où on peut remarquer que les phases correspondantes aux laitiers de haut fourneau et au clinker portland sont voisines **[71].**

I.3.6. l'influence de laitier haut Fourneau sur Propriétés des matériaux cimentaire

a. Etat frais

Belghit **[72]** Plusieurs recherches confirment que l'ouvrabilité des bétons avec laitier granulée est plus grande que celle des bétons ordinaires. Cette amélioration est due à la surface caractéristique des particules de laitier qui sont en fait dense, lisse et n'absorbent pas beaucoup d'eau dans la phase initiale d'hydratation.

Shi et al **[73]** ont montré que la fluidité du béton augmente considérablement lorsque des poudres vitreuses sont partiellement substituées au ciment. Dans leurs travaux sur des mortiers, ils ont substitué le ciment par du laitier jusqu'à 50%, ils ont confirmé que l'étalement augmente avec l'augmentation de la teneur en laitier.

Li et Ding **[74]** ont trouvé que l'incorporation du laitier à raison de 20 à 30% dans le mortier améliore son ouvrabilité. Necira et al **[75]** ont eu un étalement d'environ 680 mm avec 40% de laitier et un étalement d'environ 625 mm pour 15% de laitier dans le mélange, contre 750 mm dans notre cas.

BOUKENDAKDJI **[5]** Il est bien prouvé que l'ouvrabilité des bétons au laitier est bien améliorée comparée à celle des bétons sans laitier. D'après Kadri et Duval **[76]** cette amélioration est souvent attribuée à la qualité de la surface de ses grains qui crée des points de glissement dans la pâte, à l'augmentation du volume de la pâte du liant à cause de sa faible densité et à une meilleure dispersion de ses particules.

Les ciments à forte teneur en laitier se caractérisent par une faible chaleur d'hydratation, qui peut être mise à profit pour le coulage d'éléments massifs et le bétonnage par temps chaud. **[77].**

BOUKENDAKDJI **[5]** A des températures normales, la présence de laitier dans le béton conduit à un retard de prise, habituellement de l'ordre de 30 à 60 minutes, **[78]** Brooks et al **[79]** trouvent que l'inclusion des ajouts minéraux et spécialement le laitier à 40% et plus retarde le temps de prise.

DERABLA **[80]** La masse volumique du mortier confectionné à partir de différents types de ciment élaborés est décroissante en fonction de l'augmentation du taux de laitier granulé (tableau I.3). Cela est justifié par le fait que la MV abs (clinker) = 1288 qui est supérieure à MV abs (laitier granulé) = 890.

Taux de laitier	0%	20%	40%	60%	80%
ρ (Kg/m^3)	2353	2332	2265	2204	2120

Tableaux I.3 Masse volumique des différents mortiers élaborés

b. Etat durci

Plusieurs études ont été entreprises afin de déterminer l'influence du laitier sur la résistance mécanique du ciment et du béton durci **[59]**. Ces études rapportent qu'un avec l'addition de laitier, la résistance du ciment diminue au début, toute fois au bout de 28 jours et plus, les ciments contenant 15% de laitier ne cèdent en rien au ciment de contrôle sans constituants secondaires (voir la figure I.25).

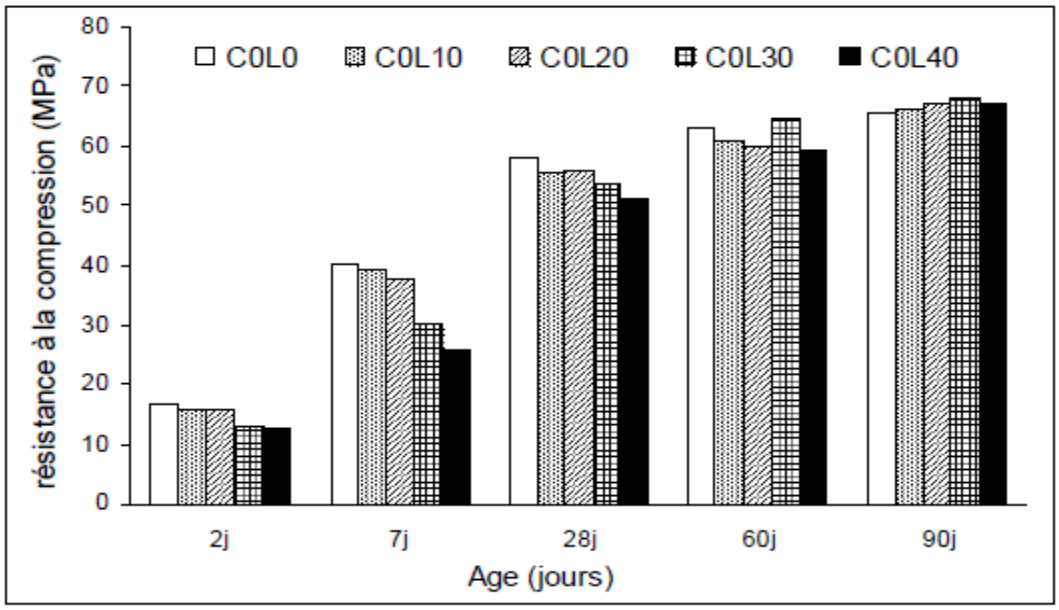


Figure I.25. Effet du pourcentage de laitier sur la résistance à la compression C0L0 : liants avec 0% de laitier avec 100% ciment CEMI, C0L10 : liants avec 10% de laitier, C0L20: liants avec 20% de laitier, C0L30: liants avec 30% de laitier, C0L40 [114].

Sanjuán 2018 **[81]** La résistance à la compression à 28 jours diminue lorsque la teneur en laitier de haut fourneau granulée broyée augmente dans le ciment, en accord avec d'autres chercheurs **[82].** Néanmoins, les différentes résistances à la compression du ciment rendent difficile l'attribution des résultats différents uniquement au contenu GGBFS. Ce changement se produit dans les mortiers avec environ 10% à 28% de laitier de haut fourneau granulé broyé, mais est devenu très significatif (30%) avec 62,2% de laitier de haut fourneau granulé broyé.

BOUKENSAKDJI **[5]** montre la variation de la résistance à la compression en fonction de la teneur en laitier à différents âges (figure I.26). Une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation de la quantité de laitier dans le mélange est observée à tous les âges. En effet, à 28 jours et en chiffres, cette diminution équivaut à 7,36%, 11%, 23,85% et 28,90% respectivement pour des taux de substitution du ciment par du laitier de 10%, 15%, 20% et 25%. Néanmoins on remarque que la diminution de la résistance à la compression est moins importante dans le cas des âges avancés (56 et 90 jours après malaxage), en comparant les résistances à la compression pour les deux teneurs en laitier, 0 et 15%, on remarque que la différence à 28 jours était de 7,69 MPa, pour diminuer à 4,30 à 56 jours et 3,92 à 90 jours, soit une diminution de 44% et 49% respectivement.

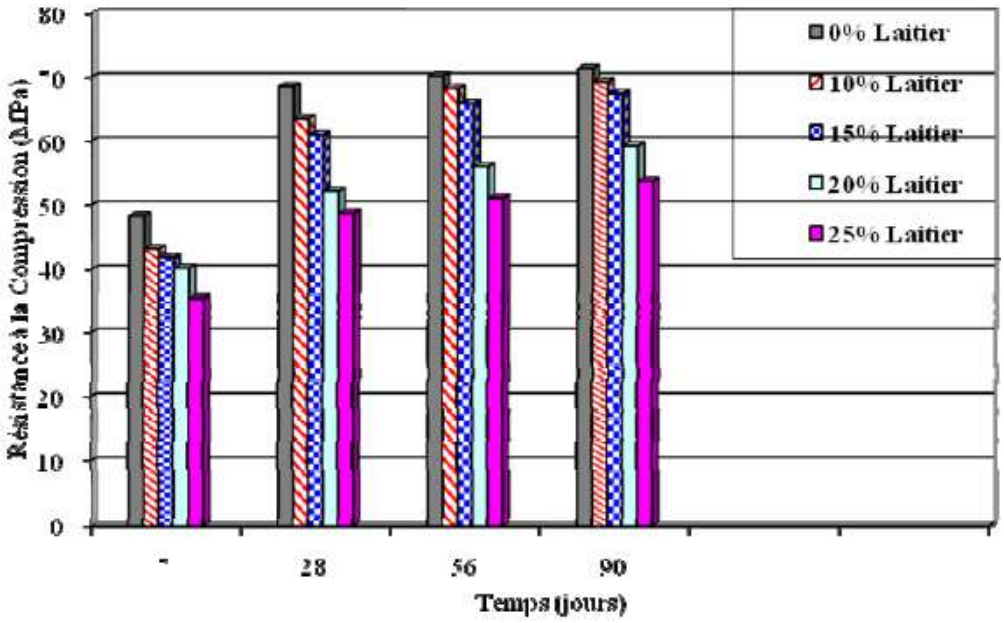


Figure I.26 Variation de la Résistance à la Compression en fonction du Temps. [5]

Amrane et Kenai **[83]** ont introduit le laitier, par substitution, jusqu'à 50%. Ils ont observé une diminution de la résistance jusqu'à 28 jours, pour tous les pourcentages de substitution, mais à 90 jours, et pour 15% de substituion du ciment par du laitier, ils ont enregistré une résistance nettement supérieure à celle du béton de référence.

Amrane et Kenai **[83]** ont utilisé le même laitier d'El-Hadjar. Ils l'ont broyé, à une finesse comparable à celle du ciment, et ont trouvé des résistances à la compression, à 28 jours, comparables à celles d'un béton sans laitier. Par conséquent, un broyage séparé a été adopté dans le cadre de cette étude.

Selon Behim [**79]** l'élaboration de ciment type CHF avec un dosage en laitier de 50 % est possible à condition de broyer suffisamment le laitier à une finesse de 3500 à 4000 cm2/g avant de le mélanger au clinker. Il a montré que la finesse de mouture du laitier exerce un effet favorable sur les résistances mécaniques.

D'après bachene **[8]** la substitution du ciment par 15% de laitier a provoqué une diminution de 17% de la résistance à jeune âge, ces valeurs sont rattrapées a 28 jours où elle a enregistrées des résistances similaire pour les BAP sans ou avec laitier, et même une augmentation de résistance de 5% a été observé long terme le laitier.

D'après Kateb dans son mémoire **[84],** l'utilisation du laitier apporte les avantages suivants

- Leurs utilisations avec du ciment rendent le temps de prise un peu plus long que les ciments Portland seuls.

- Les résistances aux premiers jours sont inférieures à celles des ciments seuls, mais elles se rattrapent souvent au bout de 7 jours

BOUKENSAKDJI **[5]** a trouvé que les résistances à la traction diminuent avec l'augmentation de la teneur en laitier cette diminution est moins importante à 90 jours d'âge (figure I.27), en comparant les résistances à la traction pour les deux teneurs en laitier, 0 et 15%, on remarque que la différence à 28 jours était de 0,84 MPa, pour diminuer à 0,49 à 90 jours, soit une diminution de 42%. On ajoutera en fin qu'à 28 jours, la diminution de la résistance à la traction est moins importante que celle de la résistance à la compression et ce pour tous les taux de substitution du ciment par du laitier, contrairement Felekoglu et al. **[85]** ont montré que les mélanges de BAP présentent des résistances à la traction élevée comparées à celles des bétons traditionnels.

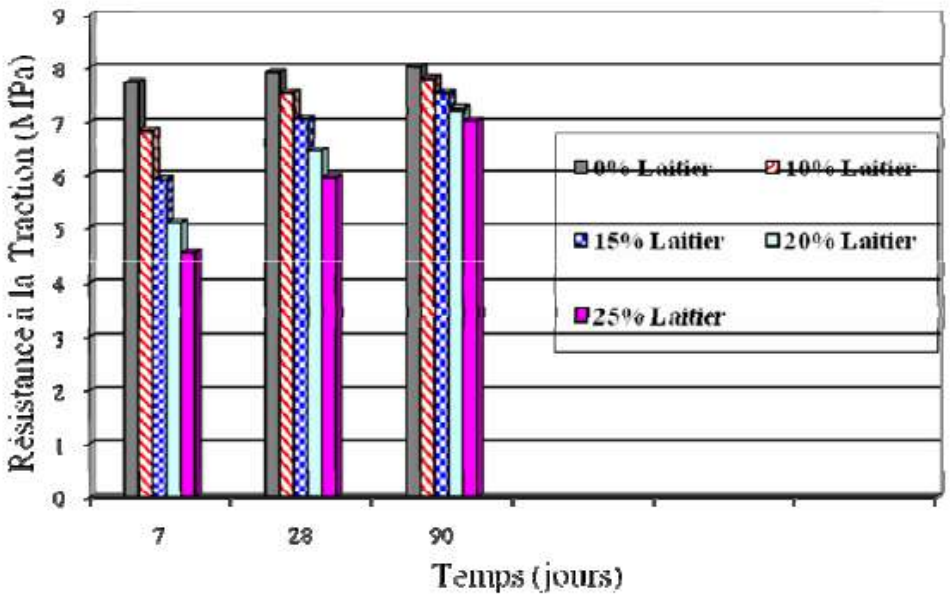


Figure I.27 Variation de la Résistance à la Traction en fonction du Temps **[5]**

c. Durabilité

Selon Guneyisi et Gesoglu **[86],** les caractéristiques de l'absorption d'eau du béton diminuent avec l'augmentation du dosage en laitier indépendamment des conditions de cure et de l'âge. Par contre les différences dans ces caractéristiques, entre le béton avec laitier et sans, deviennent plus signifiantes à cause de la méthode de cure après 28 jours et sont remarquablement plus faible pour le béton au laitier.

Nehdi et al. **[87]** confirment que l'introduction d'ajouts minéraux en grande quantité, améliore la durabilité des BAP. Ainsi, pour des mélanges binaires, ternaires et même

quaternaires, donne de grandes résistances à long terme, bonne résistance au gel dégel, faible expansion au sulfate et une très faible perméabilité aux ions chlore.

Le taux de carbonatation augmente avec l'augmentation de la teneur en laitier de laitier granulé broyé dans les mortiers et avec la diminution du temps de séchage en voie humide. Ensuite, un temps de durcissement minimal de sept jours est établi comme seuil pour le mortier avec une teneur en laitier granulé de haut fourneau broyée supérieure à 28%; alors qu'un temps de durcissement minimum de trois jours pourrait être suffisant pour les matériaux à base de ciment contenant moins de 28% de laitier de haut fourneau **[81]**.

La forme irrégulière de FRA supérieure et la surface plus rugueuse, comme le montrent Silva Neto et Leite (2018) et Fan et al. (2016), produisent davantage de frictions entre les particules, augmentant ainsi la demande en eau. En ce qui concerne l'augmentation de la teneur en eau dans les mélanges de béton, plus le rapport w / c est élevé, plus la quantité de ciment à associer à l'eau existante est petite et, par conséquent, le béton a une porosité plus élevée, ce qui peut avoir contribué à la diminution de la densité. Ce problème est résolu dans les BAP par l'utilisation des adjuvants **[81].**

Les résultats obtenus par Boucette **[88]** montrent l'effet favorable de toutes les additions sur la porosité. La tendance à la diminution de la porosité est fonction du type et du dosage des additions. En effet le dosage optimal en filler calcaire semble s'établir à 45%, au-delà duquel la porosité à tendance à se stabiliser. Alors que la porosité des BAP avec addition de laitier granulé ou de poudre de verre diminue avec l'augmentation du dosage. Ce qui peut être expliqué par les natures différentes des additions. En effet, le filler calcaire est une addition inerte ne pouvant avoir qu'un effet de remplissage et de germination hétérogène qui est notable uniquement à court terme (Figure I.28). Le laitier granulé par son caractère hydraulique latent s'inscrivant dans le long terme. La poudre de verre par son potentiel pouzzolanique et la présence d'alcalins en quantités importantes comme catalyseur de réaction pouzzolanique, contribuent à la diminution de la porosité par la production en plus grande quantité de C-S-H [115], mais aussi plus dense [115].

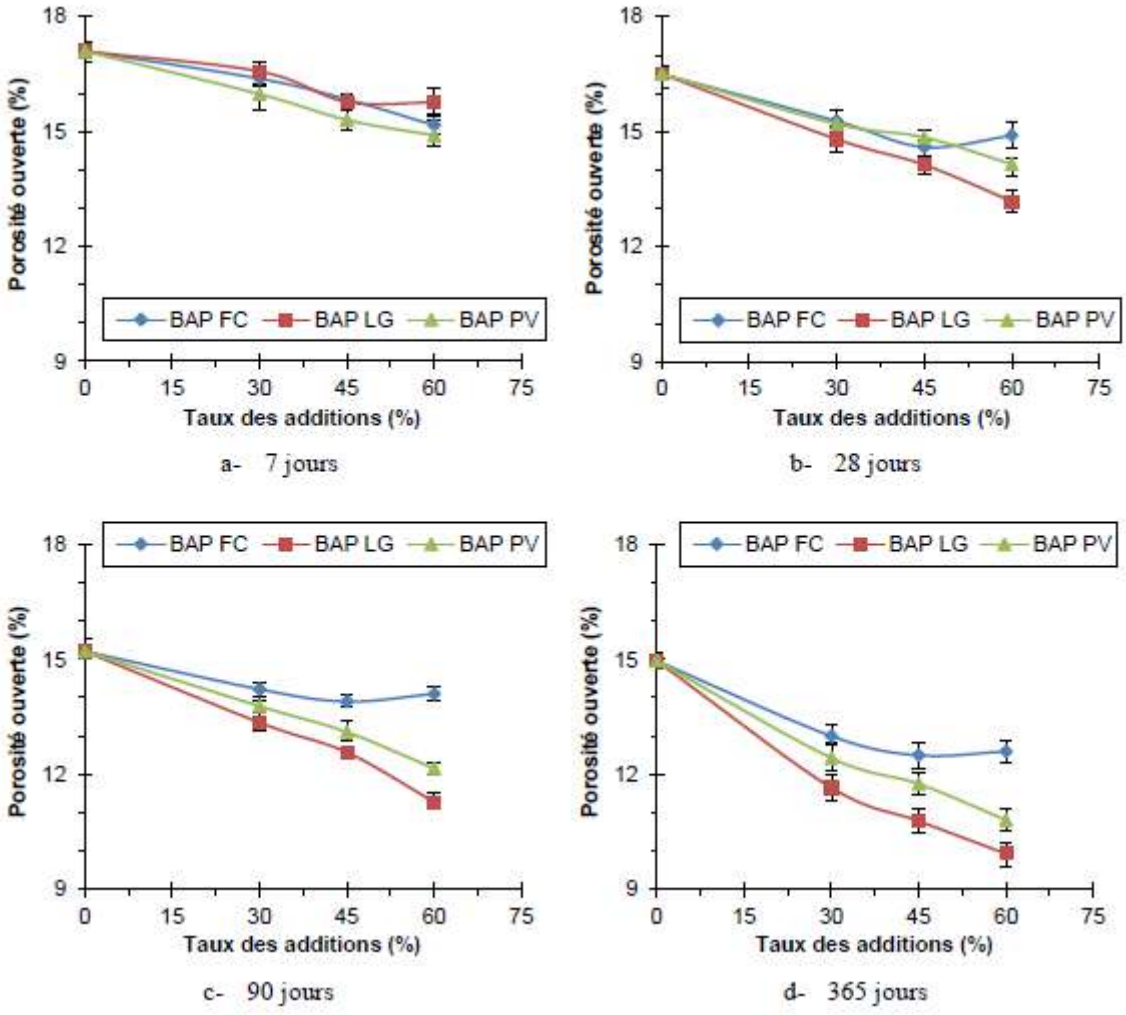


Figure I.28 Evolution de la porosité ouverte des BAP en fonction du dosage en addition **[88].**

I.4 CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique a été menée pour faire le point sur les connaissances relatives aux mortiers autoplacants, granulats recyclés de béton de démolition et laitiers des hauts fourneaux, ainsi que les résultats des autres chercheurs sur les paramètres étudiés.

Pour les mortiers on a présenté sa composition particulière ainsi que ses différents types et emplois.

Concernant les granulats recyclés, qui est le noyau de notre sujet de recherche, on a focalisé sur son aspect écologique important qui diminue la consommation importante des granulats naturels et élimine les déchets de démolition qui présente une grande partie des déchets dans le monde. L'origine de ces granulats lui confie des caractéristiques différentes de celle des granulats naturelles, telle que sa composition chimique, sa faible densité, grande

absorption, taux de fines, Ces caractéristiques influent sur le comportement des mortiers autoplaçants soit à l'état frais ou durcis.

Pour un mortier plus écologique, on a choisi l'utilisation d'une addition minérale disponible et catégorisé comme déchets industriel c'est le laitier des hauts fourneaux. Cette addition broyés a une finesse supérieure à celle du ciment, peut substituer ce dernier avec des résistances des mortiers comparable au mortier sans additions, et une amélioration de la porosité.

Le deuxième chapitre 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 II :
MATERIAUX ET ESSAIS EXPERIMENTAUX

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, laitier, 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 effectués au laboratoire de Génie Civil de l'université de Médéa :

- A l'état frais

- Essais d'étalement au mini cône
- Essai de la masse volumique

- A l'état durci

- Essai de Traction sur prisme d'èprouvettes4×4×16 cm^3 à l'âge de 3, 7, 28 et 56 jours ;
- Essai de compression sur demi prisme d'éprouvettes 4×4×16 cm^3 à l'âge de 3, 7, 28 et 56 jours ;
- Essai de porosité accessible à l'eau sur demi-prisme d'éprouvette 4×4×16 cm^3 à l'âge de 3 et 56 jours ;
- Essai d'absorption d'eau par capillarité sur demi-prisme d'éprouvette 4×4×16 cm^3 à l'âge de 3 et 56 jours ;

II.2. Matériaux utilisés

Afin d'enrichir les résultats de recherche dans notre pays (Algérie), on a utilisé que des matériaux locaux.

II.2.1. Le ciment

Un seul type de ciment est utilisé au cours de cette étude expérimentale, Il s'agit d'un ciment portland artificiel CEM1 42.5 produit par la cimenterie de Biskra en Algérie, Selon les essais effectués, la masse volumique absolue et la finesse de ce ciment sont 3.149 g/cm3 et 2900 cm^2/g respectivement, La composition chimique est donnée par l'usine présentée au tableau suivant **[89]**.

II.2.1.1.Composition du ciment :

- Au moins 95% de clinker (K)
- Ajouts : la proportion de constitution secondaire est limitée à 05%



Figure II.1. Ciment portland artificiel

Les résultats obtenus des propriétés physico-mécaniques du ciment sont résumé dans le tableau II.2, Selon les résultats, Le ciment répond aux exigences fixées par les normes

Tableau II.1.Caracteristique physico-mécanique du ciment CPA CEM I 42.5.

Consistance normale		**27**	**NF EF 196-3 [90]**
Temps de prise (min)	**Début**	**170**	
	Fin	**255**	
Résistance à la compression(MPA)	**28j**	**≥42.5**	**NF EN 196-1 [91]**

II.2.2. Laitier de haut fourneau

Le laitier utilisé est un laitier granulé provient du complexe sidérurgique d'El-Hadjar. Il est fourni sous forme de grains sphériques de classe granulométrique 0/5 mm et de couleur jaunâtre. Le laitier est ensuite réduit en poudre avec une finesse de 3800 cm^2 /g à l'aide d'un broyeur à boulets. Le temps de broyage est fixé à 150 min pour chaque 5 kg. Sa masse volumique absolue est de 2875 kg/m3. Les résultats de sa composition chimique sont fournis dans le tableau II.3 **[8].**

Tableau II.2. Caractéristiques chimiques du laitier d'El Hadjar**.**

Composition chimique (%)									
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	K_2O	SO_3	TiO_2	Total
40,10	6,00	2,00	42.20	4,70	2,60	1,20	0,15	1,20	101,15



Figure II.2. Poudre de Laitier avant broyage(a) et après broyage(b).

II.2.3. Le Sable

Dans cette étude, on a utilisé deux types de sable, un sable fin naturel (figure II.3) provenant de carrière d'Oued Souf située au SUD-EST Algérien et un sable recyclée de béton de démolition concassée (figure II.4).



Figure II.3 : Sable naturel d'oued souf.



Figure II.4 : Sable recyclée de béton de démolition.

Le sable recyclé issu d'un concassage des éprouvettes de contrôle de qualité de béton de différent chantiers de la wilaya de Médéa (Algérie), ces éprouvettes sont apportées de la société SETAM et concassée par un concasseur a mâchoire au sein de laboratoire de l'université de Médéa (**Figure II.5**) qui nous a permet d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-5 mm puis tamisé par un tamis de 3mm.



Figure II.5 : concasseur à mâchoire.

Les caractéristiques physiques des deux types de sable sont résumées dans le tableau suivant et l'analyse granulométrique des sables utilisés est présentée sur la **Figure II.6** :

Tableau II .3 : caractéristiques du sable.

Caractéristique	Sable naturel	Sable de béton recyclé
La classe granulaire (mm) NF EN 933-1**[92]**	0/3	0/3
Le module de finesse (g/cm^2) NF EN 933-1**[92]**	1.89	3.14
La masse volumique absolue (g/cm^3) NF EN 1097-6**[93]**	2.63	2.47
La masse volumique apparente (g/cm^3) NF EN 1097-3[**94]**	1.59	1.29
Equivalent de sable à piston (%) NF EN 933-8[**95]**	70	73
Equivalent de sable à vue (%) NF EN 933-8**[95]**	75	79
Taux d'absorption d'eau (%) NF EN 1097-6**[93]**	0.5	8

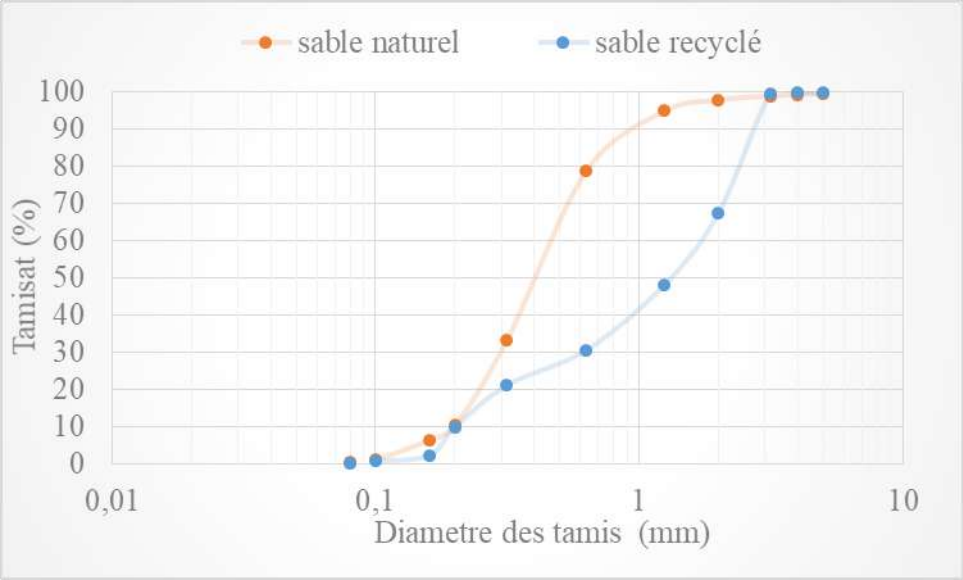


Figure II.6 : La courbe granulométrique des sables utilisés

II.2.4. Adjuvant

Le super plastifiant utilisé dans cette étude est un haut réducteur d'eau de la troisième génération fournie par la société Granitexe-NP et commercialisé sous le nom « MEDAFLOW 30 » (figureII.7), de type polycarboxylate est formulé à base de polymère de synthèse combinée. Il ne présente pas d'effet retardataire. Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,3 à 2 % du poids de ciment. Toutefois, le dosage optimal doit être recherché selon le type de mortier et les propriétés recherchées par la réalisation des gâchés au laboratoire. Ses caractéristiques sont présentées dans la fiche technique en Annexe A. **[89]**

❖ **Caractéristiques du super plastifiant MEDAFLOW 30 :**

- Aspect ……. Liquide.
- Couleur ……... brai clair.
- pH …… 5 – 6.
- Densité …… 1.06 ± 0.02.
- Teneur en chlore …… < 0.1 g/l



Figure II.7 : super plastifiant MEDAFLOW 30 utilisé

II.2.5. L'eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la fabrication du béton est celle de la distribution générale considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN 1008 **[96]**.

II.3. Formulation du mortier autoplaçant de référence (MAPT)

Afin de déterminer les quantités des matériaux : ciment, granulats, eau et adjuvant, nous sommes basés sur la méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA.

II.3.1. Le rapport Sable / Mortier :

Les auteurs de la méthode générale ont limité le volume du sable à 40% de celui du mortier (Sable/Mortier= 0,4) pour obtenir un meilleur MAP à base de matériaux locaux japonais **[3]**. Cette méthode a été modifiée par Boukendakdji .O **[5]** pour s'adapté aux exigences des matériaux locaux où la teneur sable sur le mortier (S/M) est prise de 0.5, Afin de minimiser le nombre de variables pour le mortier autoplaçant de référence, nous avons jugé judicieux de maintenir fixe le rapport S/M qui est de 0,5.

II.3.2 Le rapport eau/poudre (E/P) et le rapport Super plastifiant / Liant (Sp /L)

Ces deux paramètres sont modifiée selon les exigences des matériaux utilisés pour avoir de bonnes caractéristiques du mortier autoplaçant (MAP) à l'état frais.

Nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement de la galette et le temps d'écoulement du mortier à l'entonnoir en V (V-funnel), dont la galette doit être comprise entre 270 mm et 330 mm et le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2et 10 sec **[97].**

Ces rapports sont déterminés comme suit : pour chaque rapport E/C, on fait varier le dosage en SP de 0,3 à 2%. Les rapports optimaux E/P et Sp/P sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon MAP.



Figure II.8 : Malaxeur à mortier.

II.3.3. La substitution de ciment par le laitier des hauts fourneaux

L'objectif de notre recherche est d'avoir des mortiers fluide à faible impact environnemental, et comme nous avons cité dans le chapitre précédant, ce type de mortier contient un volume important de ciment, pour cela on a jugé important de substitué le ciment par un déchet industriel qui est disponible en Algérie.

Le laitier des hauts fourneaux qui est un produit industriel de la filière fonte de production d'acier est toujours une cible de recherche importante pour les chercheurs algériens dès l'ouverture du complexé sidérurgique d'El-Hadjar à Annaba à ce jour-là.

Behim **[77]** dans sa thèse a étudié l'effet de taux (0, 20, 50%) et de finesse (2500,3000, (3500 et 4000 m2/g) du laitier granulé sur les propriétés des bétons, Ce dernier a prouvé que la finesse de mouture du laitier granulé agit globalement favorablement sur les résistances mécaniques et surtout pour les ciments CHF (50% de substitution). Où il a conclu qu'un broyage du laitier poussé au minimum à 3500 cm^2/g est plus favorable pour les résistances mais suppose un broyage séparé, car actuellement le laitier est industriellement co-broyé avec le clinker à environ une finesse de 3000 cm^2/g environ.

Hammat **[98]** a variée la finesse (3500, 4200 et 5000 cm2/g) et le taux de substitution (0,15 et 30%) du laitier pour voir son influence sur les différentes propriétés du BAP, Elle a conclu que la finesse et le taux ne doivent pas dépasser 5000cm^2/g et 30% respectivement, 15% d'addition et 3500cm^2/g de finesse ont donné de bon résultat sur les essais d'ouvrabilité, résistance et retrait.

Boukandakdji **[5]** a utilisé un laitier d'une finesse de 3500cm²/g et il a modifié le taux de substitution (0 à 50%), du point de vue ouvrabilité et rhéologie, il a trouvé qu'une teneur laitier de 15% peut donner un bon béton autoplaçant sans ressuage ni ségrégation, Et pour la résistance mécaniques, il a observé une faible diminution en présence du laitier et qu'elles sont rattrapées à long terme, au-delà de 28 jours.

Khatib et Hibbert **[99]** ont observé un effet similaire du laitier sur le développement de la résistance à la compression sur quatre mélanges de BAP à différentes teneurs en laitier 0%, 40%, 60% et 80%. Ils ont observé une diminution systématique de la résistance à la compression avec l'augmentation de la teneur en laitier durant les stades avancés d'hydratation. Au-delà de 28 jours et jusqu'au moins 90 jours, la présence du laitier a été hautement bénéfique à 40% et 60% de substitution dépassant même la résistance du béton de control. Une remarquable diminution de résistance, pour tous les âges, a été observée pour les mélanges des BAP contenant 80% de laitier.

D'après les recherches précédents on a choisit a broyé le laitier granulé a une Finesse de 3800cm^2/g et des taux de substitutions de 20 et 40 %.

II.3.4. Technique d'utilisation de sable recyclés

L'un des caractéristiques importantes du sabe recyclé de béton de démolution est son taux d'absorption important, cette quantité d'eau absorbée peut être prise en considération par deux méthodes :

- L'ajout de la quantité d'eau absorbé au temps de malaxage
- L'immersion des granulats dans l'eau avant les utiliser.

Ces deux techniques sont aussi un point important dans l'utilisation de ce type de sable dont son état d'humidité peut modifier l'ouvrabilité et l'uniformité des mélanges de mortier et donc aurait une influence sur les propriétés du mortier durci.

Selon Diego **[100]** la méthode de compensation de l'eau absorbé dans les 10 premiere minutes dans l'eau de gâchage a l'avantage de rendre possible d'utiliser les sables d'un grand taux d'absoption sans aucune influence sur les caractéristiques a l'état frais et durcis. Cela justifié les résultats de Sckou **[50]** qui a jugé l'ajout de la quantité d'eau absorbé a 10 min lors du malaxage est la plus efficace car au dela de 10 min l'absorption d'eau des granulats lors du malaxage est presque impossible et ce qui peut conduire à un excès d'eau dans le mélange, et ainsi une augmentation indésirable dans le rapport E/C efficace.

La technique d'utilisation de sable recyclé utilisée consernant la componsation d'eau absorbé est l'ajout de l'eau absorbé à 10 min lors de malaxage.

II.3.5.Séquence de malaxage du mortier

Pour la confection du mortier fluide, la séquence de malaxage décrite dans la Figure **II.9** suit les étapes suivantes **[93]** :

- Malaxer à sec le ciment et le sable afin d'homogénéiser le mélange pendant 30 Seconde (On a utilisé un malaxeur à mortier de capacité de 5 litres) à vitesse lente.
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (= 60% Eau).
- Ajouter le super plastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau) ;
-
- Malaxer le mélange pendant 5 minutes à vitesse rapide.
- Laisser reposer le mélange pendant 4 minutes.
- Redémarrer le malaxage pendant 60secondes à une vitesse rapide.

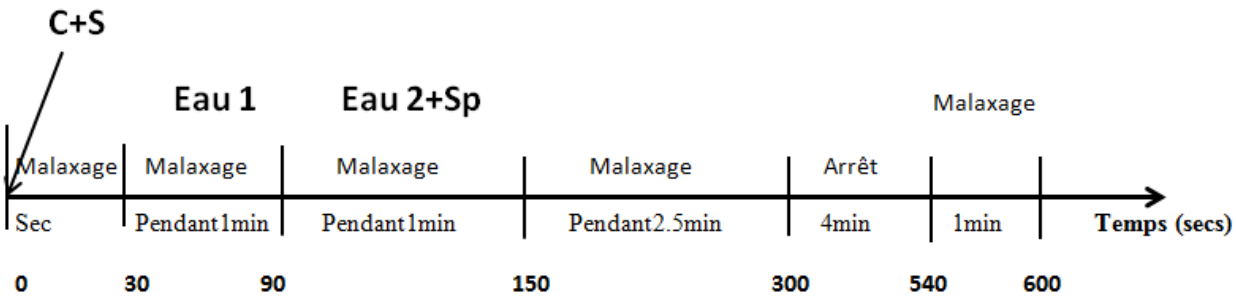


Figure II.9 : Séquence de malaxage du mortier autoplaçant.

II.3.6. Préparation des éprouvettes

Les différents types de mortiers autoplaçant sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le coulage des éprouvettes est réalisé sans vibration ni compactage dans des moules métalliques de forme prismatique 4x4x16 cm destinés aux différents essais programmés à l'état durci. Les éprouvettes confectionnées sont au nombre total de 220 éprouvettes **(figure II.10).**



Figure II.10 : Les moules 4X4X16

II.3.7.Conservation :

Après le démoulage qui fait après 24h les éprouvettes destinées à l'écrasement seront conservées dans l'eau à une température de 20°C.



Figure II.11 : Conservation dans l'eau a20 °C

II.4. Les essais sur les mortiers

II.4.1. Etat frais

Dans cette étude, deux essais ont été effectués pour valider le caractère des mortiers Auto plaçant formulés selon les recommandations de l'AFGC.

A. Essais d'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placer sur une surface horizontale Lisse, une fois le moule soulevé et la galette stabilisée, le diamètre d'étalement est mesuré suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenue. La Figure **II.12** montre les étapes de l'essai d'étalement au mini cône.

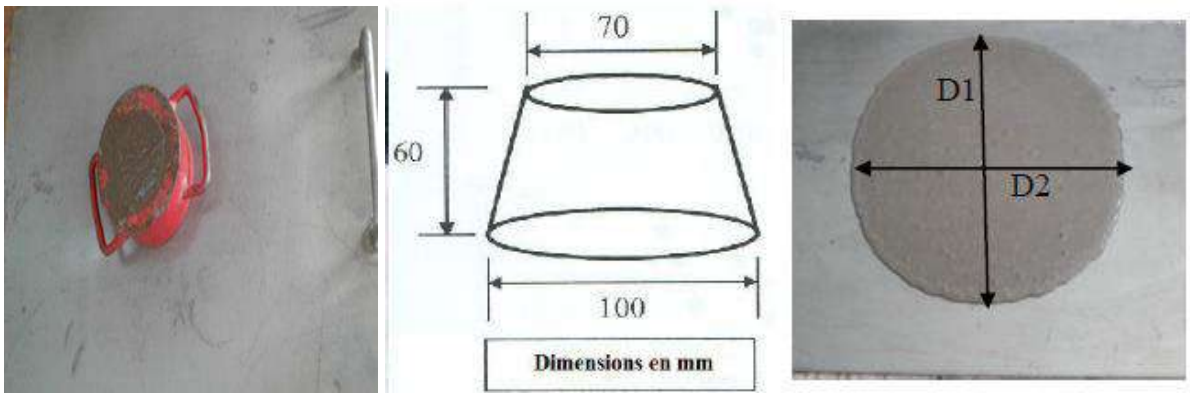


Figure II.12 : Essai d'étalement au mini cône.

D'après les résultats des expériences réalisées sur des matériaux japonais par Nawa et al. **[101]**, L'étalement doit être compris entre 250 et 280 mm, Quant à Chai [190], qui a travaillé avec des matériaux anglais, a suggéré une valeur d'étalement minimale de 300 mm, un autre intervalle pris par Domone entre 270 et 330mm **[102]**.

B. Essai d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

Dans l'essai de l'entonnoir en V (V-funnel), l'entonnoir est rempli de 1.1 litre de mortier, et un temps d'écoulement est mesuré entre l'instant de l'ouverture de l'orifice de l'entonnoir et l'instant de l'apparition de la première lumière en regardant verticalement vers le bas de l'entonnoir (figure II.13). Le temps maximal d'écoulement dans l'essai de l'entonnoir en V est limité à 10s **[101, 103]** et la valeur minimale est fixé par chai **[103]** à 2s et par Nawa et al. **[101]** à 6s.

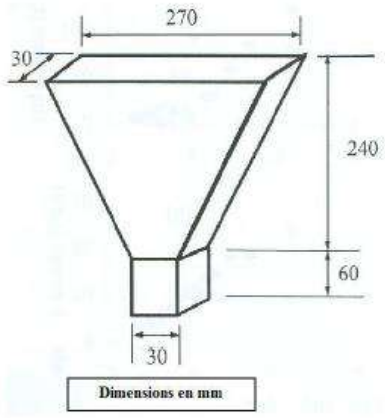


Figure II.13 : dimension du l'entonnoir en V

C. Masse volumique

La masse volumique des mortiers, mis en place à la table à chocs, est mesurée par différence de pesées du moule selon la norme NF EN 196-1. Les mortiers sont préparés dans des moules. Les moules vides et pleins sont pesés. La masse volumique est déduit. Chaque résultat est la moyenne de 3 mesures.

La masse volumique sur mortier frais est toujours réalisée. Cela permet de vérifier le rendement de la composition en comparant la masse volumique déterminée expérimentalement avec la masse volumique théorique **[104]**.

II.4.2.Etat durci

a. Résistance à la 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 après rompre en flexion a l'âge de 3, 7,28 et 56 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN (**FigureII.14**). La résistance à la Compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (03) Demi-prismes des trois éprouvettes.

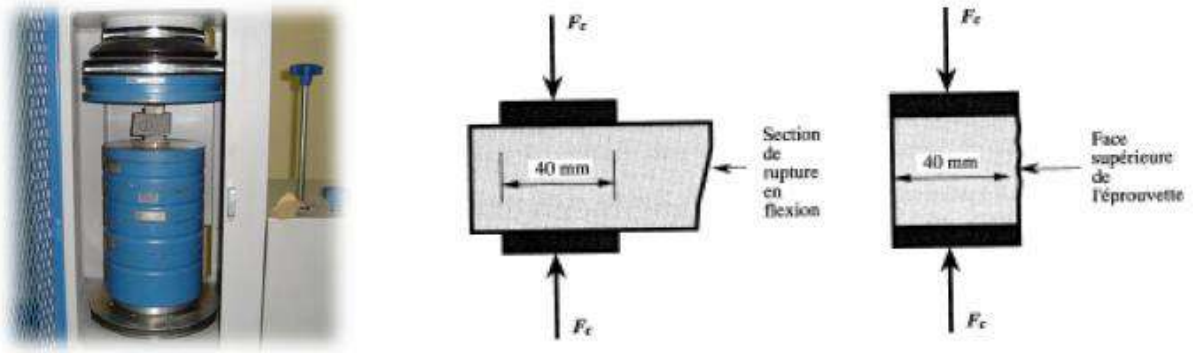


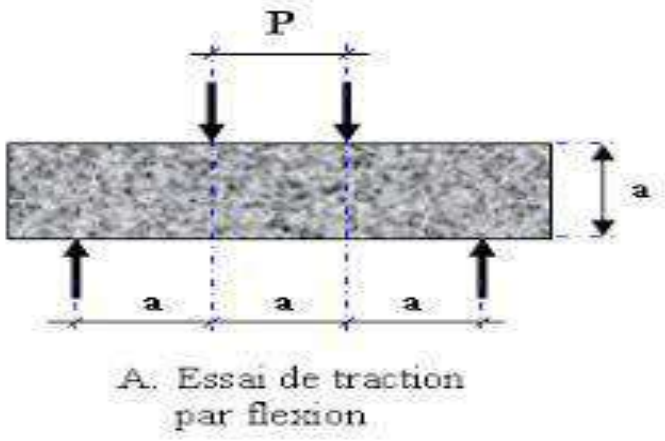
Figure II.14 : Essai de compression sur mortier.

b. Essai de traction par flexion

L'essai de résistance à la traction consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques reposant sur deux appuis à une charge croissante concentrée au milieu jusqu'à la rupture **(figure II.15).**

La charge est appliquée à l'aide d'une presse à lecture digitale reliée à un système d'acquisition (PC) par lequel on introduit la vitesse de chargement (50 N/s)suivant la norme en vigueur **[105]**. La force à la rupture est donnée par le même système. La résistance à la

traction est obtenue en faisant un simple calcul de résistance des matériaux. Les essais ont été effectués sur des éprouvettes de (4×4×16) cm3 à 3, 7, 28et 56 jours.



A. Essai de traction par flexion

Figure II.15 : Essai de traction par flexion

c. Absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18 **[106]**, l'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de mortier préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C jusqu'à poids constatant. A l'issue du sortir en étuvage, la surface latérale des éprouvette est alors enduite de résine (ou de papier aluminium autocollant) pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai, puis conservée environ 12 heures dans un dessiccateur à 20 ± 2°C pour permettre le durcissement complet de la résine. L'essai d'absorption capillaire est réalisé à la suite et consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes plongées de 5 mm dans de l'eau (figureII.16), (figure II.17). L'augmentation de la masse de l'échantillon a été mesurée à intervalles de temps (0 min, 12 min, 30 min, 1h, 2h, 4h et 24h) on procède à la pesée des morceaux (mx). La différence de poids entre (mx) et (m0) est le poids de l'eau

absorbée (mx- m0). Le coefficient d'absorption capillaire Ca est alors calculé par l'équation suivante [II.1].

$$C_a \left(\frac{kg}{m^2}\right) = \frac{(M_x - M_0)}{A} \quad \text{(II.1)}$$

Où Mx : masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg), M0 : masse initiale de l'éprouvette (kg), A : section de l'éprouvette (m²)

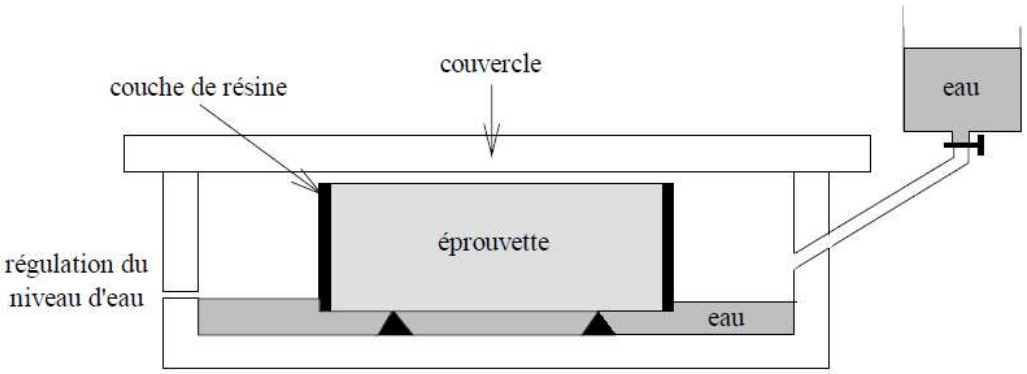


Figure II.16. Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité



Figure II.17 : Essai d'absorption d'eau par capillarité

d. Porosité accessible à l'eau

C'est le rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent suivant les recommandations en AFREM **[107, 108]**. Elle s'exprime en pourcentage du volume apparent :

$$\varepsilon(\%) = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} X100 \qquad \text{(II.2)}$$

Pour ce faire, trois échantillons de BAP ont été testés pour chaque formulation et après 28 jours de maturation. Il s'agit en réalité de peser les échantillons sous différents états. Dans un premier temps il faut s'assurera que les échantillons sont saturés en eau. Pour cela, ont les places dans un dessiccateur à vide, sous une dépression de 25 mbar pendant 4 heures, puis on immerge les échantillons dans l'eau, toujours sous vide, pendant 20heures ± 1heures. Après quoi les éprouvettes subissent une pesée hydrostatique. Pour déterminer Meaux un échantillon est suspendu à l'aide d'un fil du système de suspension de la balance hydrostatique (figureII.18) et il est pesé complètement immergé dans l'eau. La pesée doit être effectuée à 0.001g prés. Déterminer la température de l'eau d'immersion Pour déterminer Maur il faut extraire l'échantillon de l'eau et l'essuyer rapidement et soigneusement, à l'aide d'une éponge ou d'un linge humide, afin de le débarrasser des goulettes et du film superficiel d'eau, sans toutefois retirer l'eau des pores et le peser immédiatement le corps d'épreuve dans l'air à l'aide d'une balance précise à 0.001g prés, Il faut s'assurera que l'évaporation de l'eau d'imbibition ne provoque pas de perte de masse appréciable pendant les opérations de pesées.

Msec est obtenue après séchage de l'échantillon en l'exposant à 105±5°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante.



Figure II.18: Essai de porosité d'accessible à l'eau

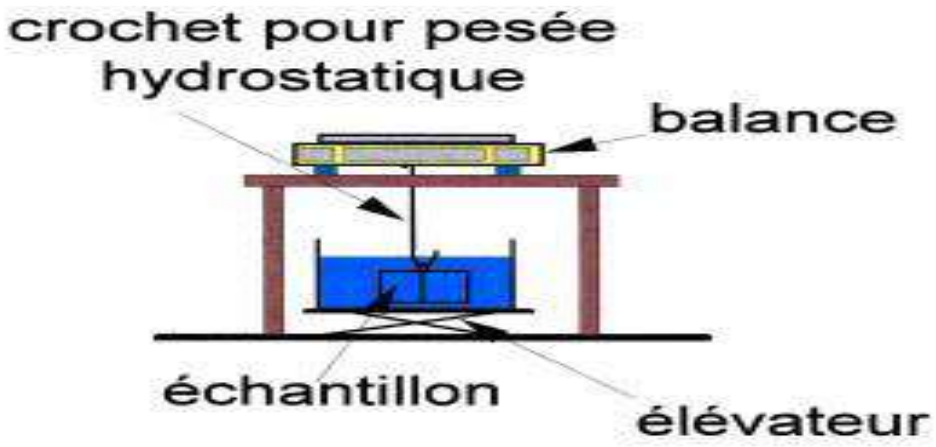


Figure II.19 : Schéma de pesée hydrostatique.

II.5.Variables Etudiées

Les variables étudiées du travail expérimental accomplit sont résumées dans les figures Suivantes (**Figure II.20 et II.21**)

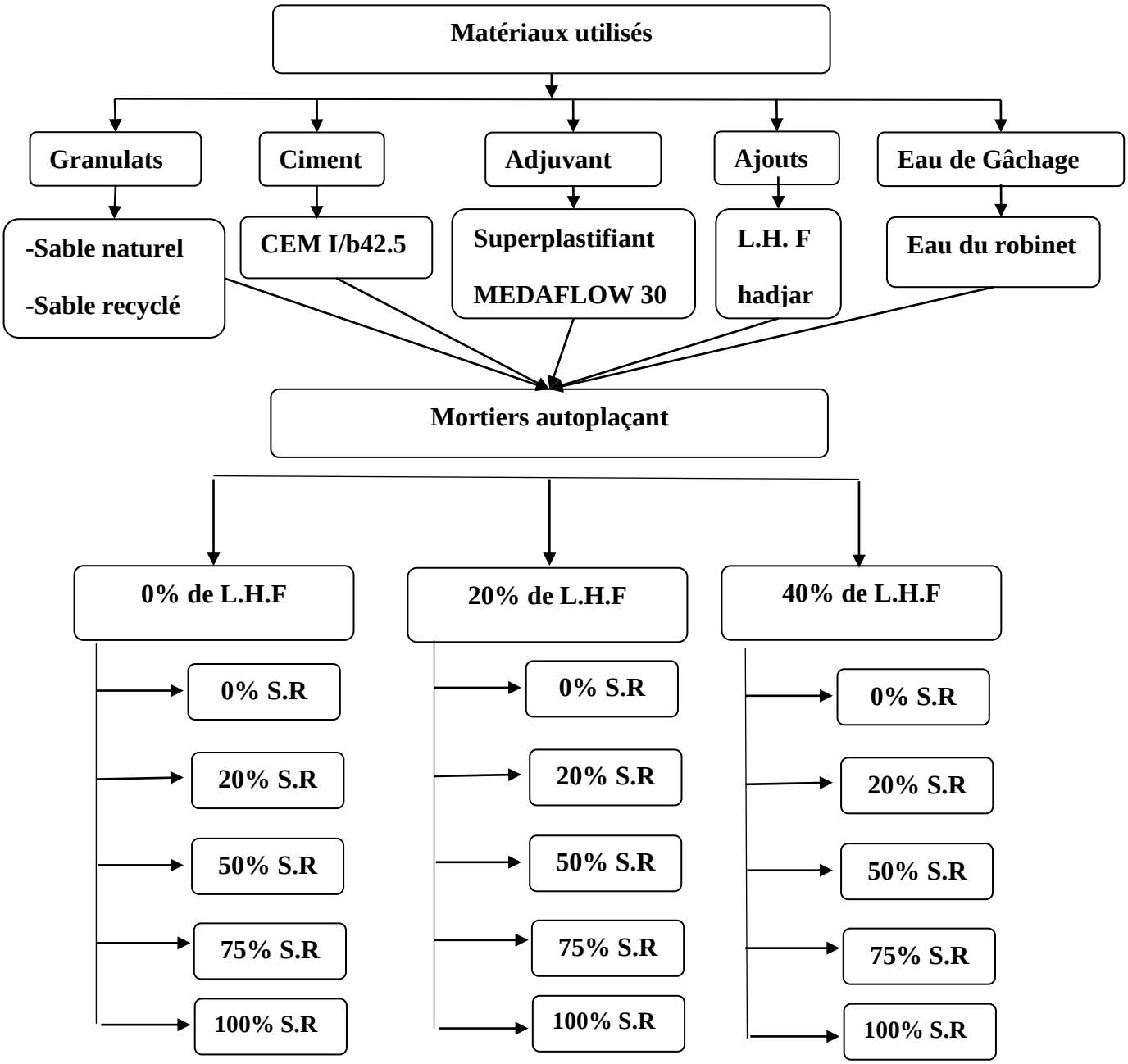


Figure II.20 : Matériaux utilisées

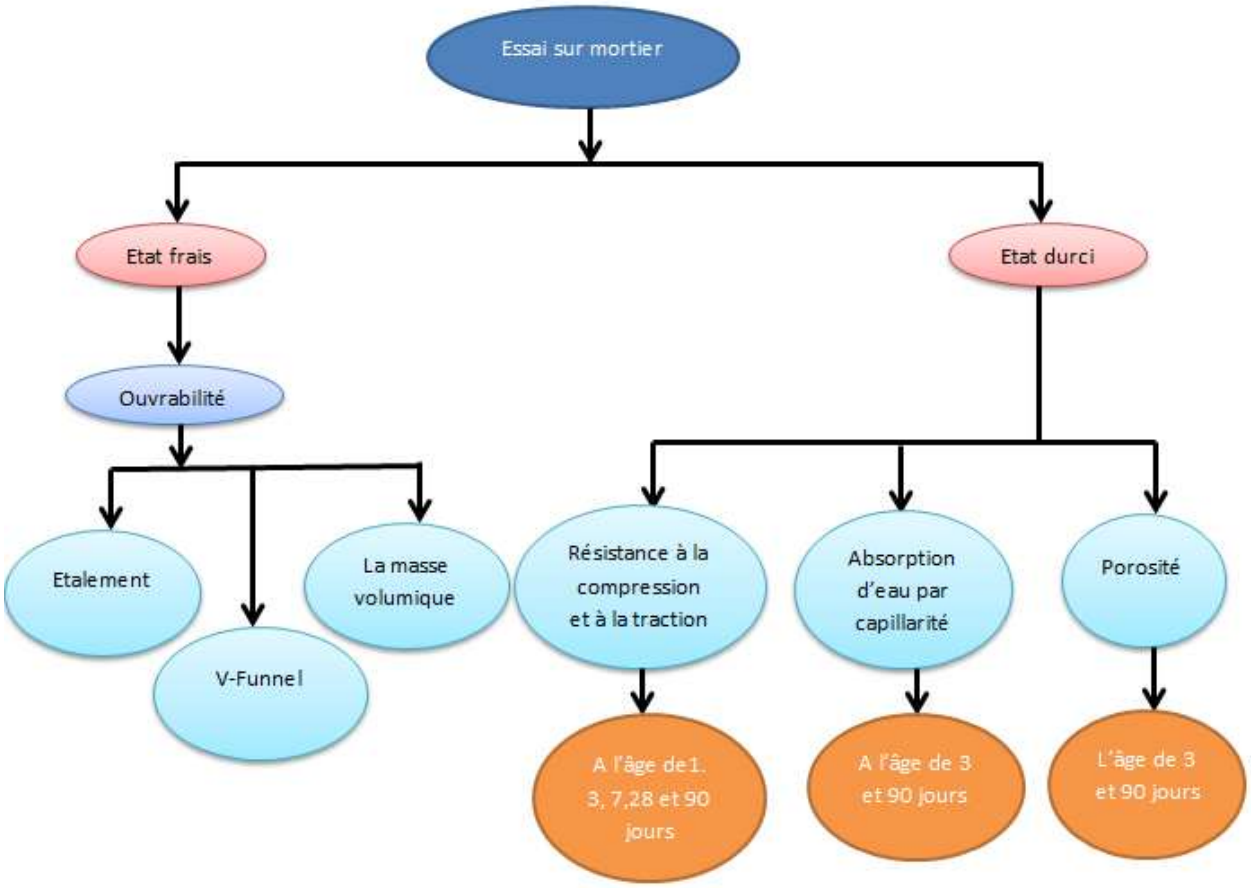


Figure II.21 : les essais sur mortiers

II.6.Conclusion

Afin de mettre en évidence la formulation des mortiers fluides a base des déchets de démolition et des déchets industriels, une caractérisation complète des matériaux et une mise en place des procédures expérimentales s'est avérée nécessaire. La première partie de ce chapitre a été consacré à cet effet, dans lequel, nous avons exposé les différents matériaux utilisés pour la formulation des mortiers ainsi que leurs propriétés physico-chimiques. Apres on a passé à la méthode de fabrication et les séquences de malaxage des différents mélanges de mortiers utilisés, ainsi qu'une présentation des essais nécessaires pour la vérification et la caractérisation des mortiers autoplaçant à l'état frais et durci.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1 Introduction

L'étude expérimentale a pour objectif principal d'étudier l'effet des déchets de béton de démolition et un sous-produit de l'industrie (sable recycle et Laitiers de haut fourneau) sur le comportement des mortiers autoplaçants (MAP) à l'état frais et durci. Pour cela, différents MAP ont été réalisés et comparés à un MAP témoin sans déchets. Les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés ci-après.

III.2 Formulation des mortiers

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire de chaque matériaux afin d'obtenir un mortier fluide sans ségrégation ni ressuage et sans nuire ses caractéristiques à l'état durci et restons toujours dans un contexte économique.

Afin de déterminer les quantités des matériaux : sable, ciment, eau et adjuvant, la formulation du MAP est basée sur la méthode japonaise (JSCE) **[3]**. Avec une modification au niveau du rapport S/M qui devenue 0.5 pour s'adapter avec les exigences des matériaux locaux basant sur les recherches de Boukendakdji **[6]**. Le rapport E/C est fixé à 0.38 pour que les résultats ne soient pas affecter par la variation de ce rapport qui peut modifier considérablement les caractéristiques des mortiers à l'état durcis.

le rapport superplastifiant/liant (SP/L) ont été évalués expérimentalement de manière à avoir des valeurs d'étalement au mini cône d'Abrams de (290 ± 10mm) pour toutes les familles des mortiers, les différentes compositions sont présentées dans le tableau (III.1).

Tableau III.1 : Composition des différents mortiers réalisés.

	Sable recyclé (%)	Ciment (g)	Sable (g)	E/c	Eau(g)	Sp		Sable recyclé (g)	Laitier haute Fournaux (g)
						(%)	(g)		
MAP0L	0	717.2	1308.4	0.38	272.9	1.2	8.6	0	0
	25	717.2	981.3	0.38	296.4	1.1	7.9	284.1	
	50	717.2	654.2	0.38	320	1	7.2	568.1	
	75	717.2	327.1	0.38	341.9	0.95	7.0	838.4	
	100	717.2	0	0.38	365.3	0.85	6.1	1117.8	
MAP 20L	0	579.6	1308.4	0.38	271.1	1.1	7.8	0	131.417
	25	579.6	981.3	0.38	294.4	0.97	6.9	279.5	131.417
	50	579.6	654.2	0.38	317.6	0.87	6.2	588.9	131.417
	75	579.6	327.1	0.38	340.6	0.8	5.7	838.4	131.417
	100	579.6	0	0.38	363.4	0.75	5.3	1117.8	131.417
MAP40L	0	438.9	1308.4	0.38	269.7	0.95	6.9	0	265.397
	25	438.9	981.3	0.38	292.7	0.87	6.1	279.5	265.397
	50	438.9	654.2	0.38	316	0.74	5.2	588.9	265.397
	75	438.9	327.1	0.38	339.1	0.65	4.6	838.4	265.397
	100	438.9	0	0.38	362.2	0.56	3.9	1117.8	265.397

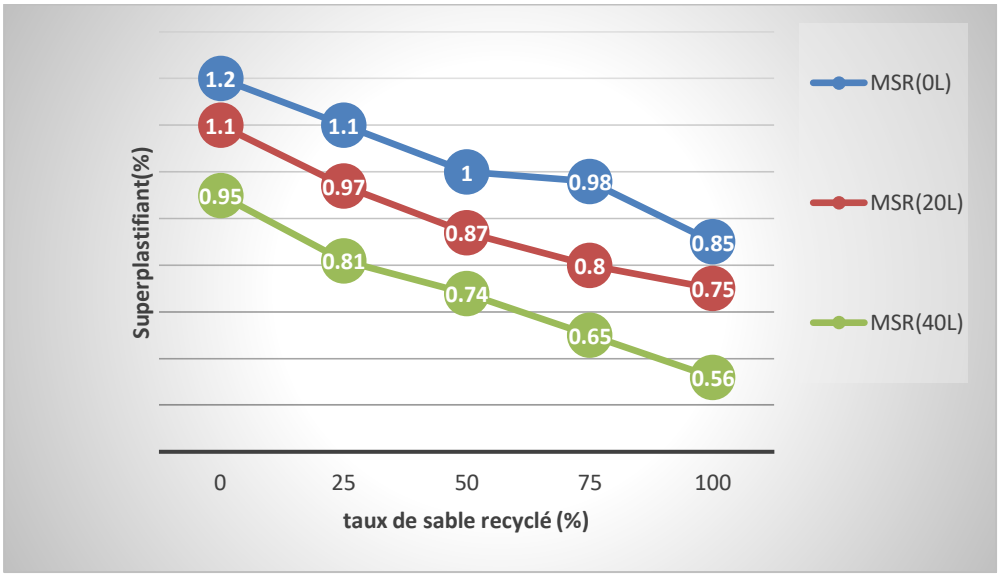
III.3 État frais

Deux paramètres jugés principal pour vérifier l'effet de sable recyclé ainsi que du laitier des hauts fourneaux à l'état frais.

III.3.1 Besoin en superplastifiants

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 mortier est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition seulement, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais.

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant (figure III.1) pour avoir une même fluidité pour tous les mortiers autoplaçants. Ce graphe donc, montre le besoin en superplastifiant pour un étalement de (290 ± 10mm)



FigureIII.1 Besoin en adjuvant en % pour les différents mortiers autoplaçants étudiés.

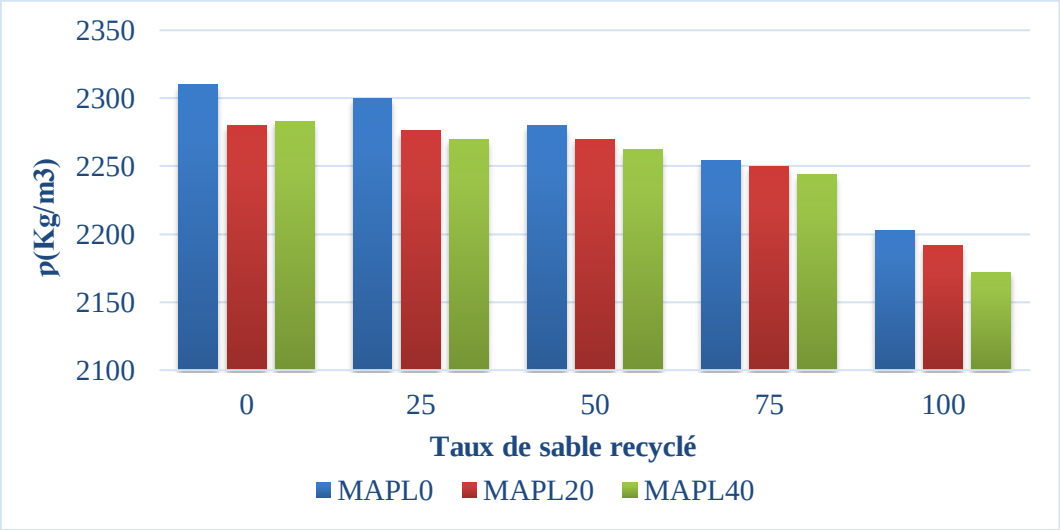
D'après les résultats présentés sur la figure III.1, on remarque que le besoin en superplastifiant diminué en fonction des taux de substitution en sable recyclée et même par l'utilisation de laitier de haut fourneaux, en effet la combinaison de ces deux paramètres mène à une réduction importante dans l'utilisation d'adjuvant.

En ce qui concerne le laitier haut fourneau Cette amélioration est totalement justifiable non seulement par les memes résultats obtenue par d'autres chercheurs **[72] [73] [74].** mais aussi ce comportement est liée à la surface caractéristique des particules de laitier qui sont en fait dense,vitreuse, lisse et n'absorbent pas beaucoup d'eau dans la phase initiale d'hydratation , rapelons que la surface de bleine des laitiers utiliser est de 3800 cm^2/g est largement superieur a celle du ciment (2900 cm^2/g), ce qui donne plus de fluidité au MAP a base du laitier.

les résultats de recherche sur l'effet de sable recyclé sur les bétons et mortiers fluides sont différentes entre une perte et une amélioration d'étalement, les rsultats obtenue montrent clairement que et l'etalement des mortiers autoplaçant est favorisé par l'utilisation des sable recycé et cela peut etre du a la quantité d'eau ajouté lors de malaxage pour compensé l'absorption importante de ce type de sable, savére que cette quantité d'eau ne peut pas etre totalement absorbé après que le sable sera enrobé par la pate de ciment, cela confirment les resultats d'autres chercheurs[**47-50]**.

III.3.2. La masse volumique

D' après les résultats de la masse volumique des différents MAP, qui sont présenté sur la figure III.2, on remarque que La masse volumique du mortier autoplaçants étudiés est décroissante en fonction de l'augmentation du taux de sable recyclé, cette diminution est d'ordre de 4% entre un mortier avec que du sable naturelle et un mortiers fabriqué totalement par un sable recyclé, cela est justifié par le fait que la masse volumique du SR et plus faible que celle du SN. Néanmoins la diminution de la masse volumique du à la substitution du ciment par le laitier est très faible.



FigureIII.2 masse volumique en fonction des différents mortiers autoplaçants étudiés.

III.4 État durci

III.4.1 Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression à 3, 7,28 et 56jours des différents MAP réalisés en fonction du pourcentage de substitution de sable recyclée sont présentés dans le Figure III.3 Suivante.

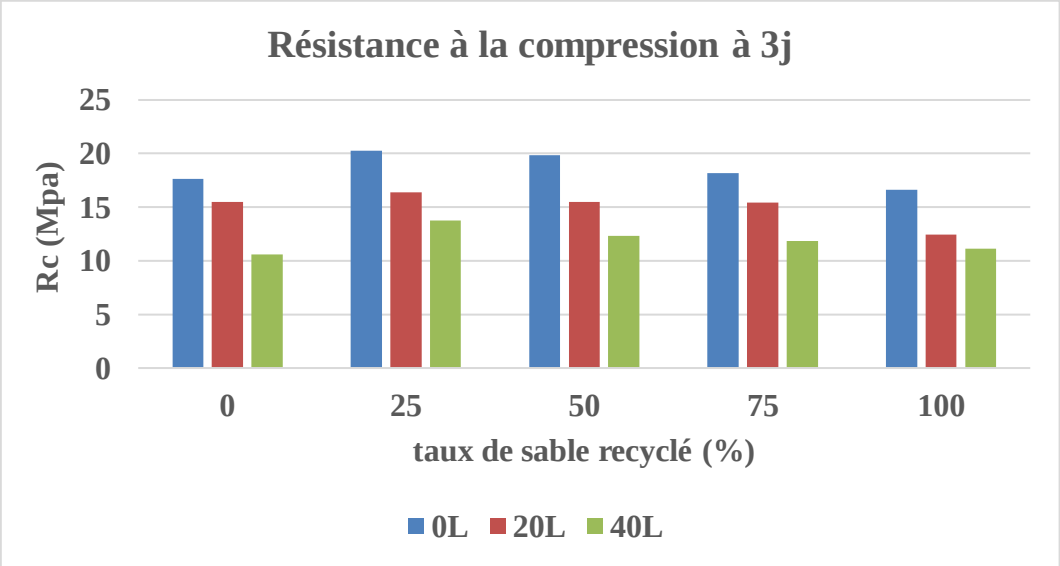


Figure III.3. Résistance à la compression des MAP en fonction le taux de sable recyclé à 3j.

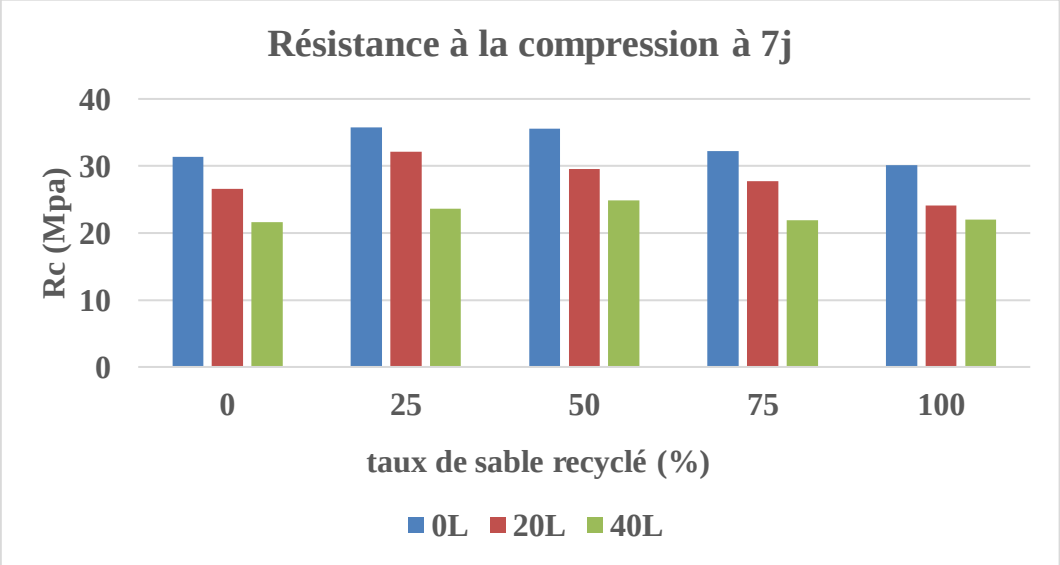


Figure III.4. Résistance à la compression des MAP en fonction le taux de sable recyclé à 7j.

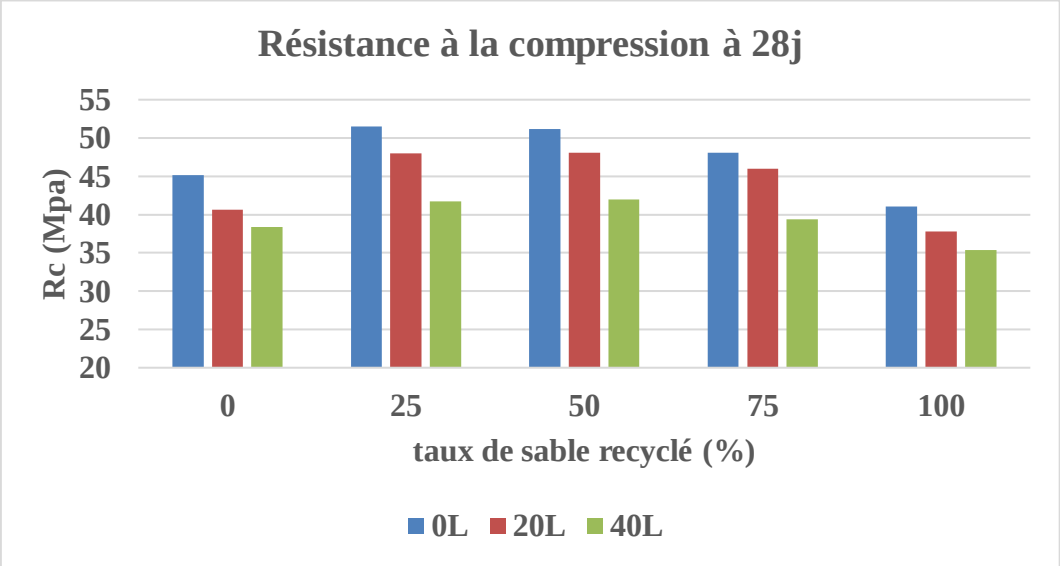


Figure III.5. Résistance à la compression des MAP en fonction le taux de sable recyclé à 28j.

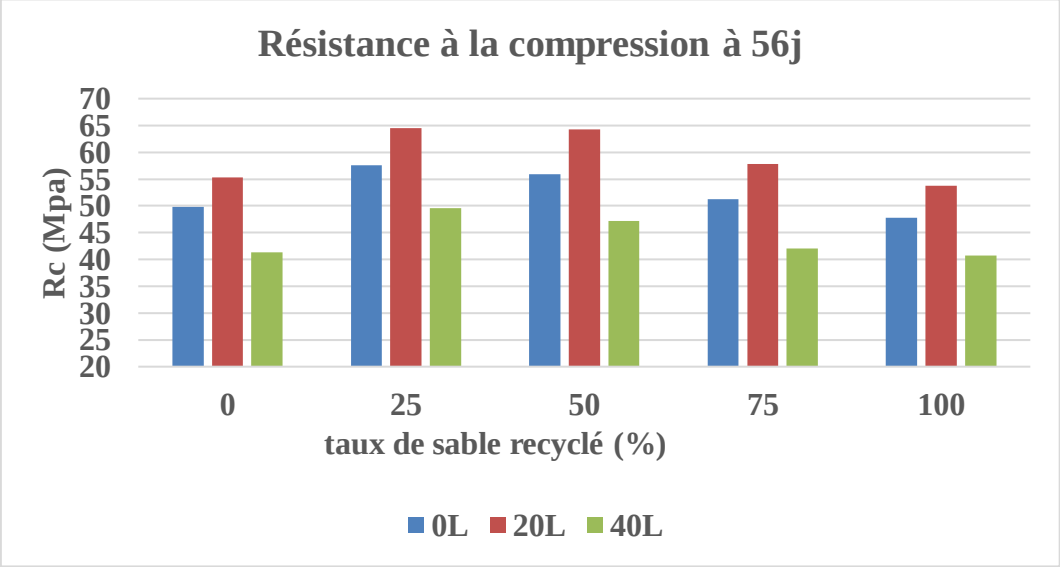


Figure III.6. Résistance à la compression en fonction le taux de sable recyclé à 56j.

Les figures III.3 a III.6 montre la variation de la résistance à la compression des mortiers à base de sable recyclée (SR), selon les résultats présenté, il est claire que l'utilisation de sable recyclé a un effet sur la résistance à la compression qui a la même trajectoire quel que soit le taux de laitier. A titre d'exemple pour les mortiers sans laitiers, une amélioration de la résistance de 13, 12 et 2.4% est enregistrée pour un taux de sable recyclé de 25 %,50%et 75% respectivement à court terme et 15 ,12 et 2.6% à long terme, par contre les sables avec 100% sable recyclé ont révélé une diminution de 4% de la résistance.

En effet plusieurs recherches ont trouvé des résultats similaire, dans le béton a haute performances avec 20% de sable recyclé ont observé une augmentation de 18% de la résistance à 28j **[53]** Ses résultats sont confirmé par jiang **[54],** dont les résistances à la compression des CCPUH avec le sable recyclé sont similaires à celles du mélange de référence avec uniquement du sable naturel. Lorsque le pourcentage de remplacement du sable recyclé est inférieur à 50%, il se produit même une légère augmentation de la résistance à la compression.

Selon les recherche précedente ceci est dû aux caractéristiques d'absorption élevées du sable recyclé, ce qui entraîne une réduction du rapport E /C et une augmentation conséquente de la résistance du mortier et aussi par l'hydratation du ciment anhydre originaire de l'ancien béton, en plus de ces justification logique dans notre cas plusieurs facteurs qui sont en relation direct avec la morphologie et la qualité de sable recyclé utilisé ont amélioré l'efficacité d'utilisation de ce type de sable :

- Le sable recyclée est concassé donc rugueux contrairement au sable naturelle utilisé qui est lisse et rond, donc qu'il est connu que la forme de granulat améliore la résistance.
- Le sable recyclé est utilisé comme un correcteur de sable fin dont le Module de finesse de sable recyclé qui est de 3.14 est plus grand que celui du sable naturel qui est de1.98, cela a attribué aussi à améliorer la résistance.
- Le sable recyclé utilisé est issue des éprouvettes concassé ce qui lui rond de bonne qualité puisqu'il n'était pas exposés aux facteurs extérieurs (carbonatation, attaque sulfatique, corrosion….ect)

-Les éprouvettes ont été concassé totalement à une fraction de 0/5 donc ce sable contient un pourcentage élevé de granulat contrairement aux carrières qui implique un concassage à une fraction 0/20 et faire le criblage par la suite qui rond le sable contient plus de fine et de ciment que de gravier.

Pour le cas d'utilisation de laitier des hauts Fournaux, il a été constaté une baisse systématique de la résistance à la compression à jeune âge lorsque le pourcentage du laitier augmente, cette diminution est d'ordre de 25% et 37% pour un taux de 20% et 40% de laitier. A partir de 28j on remarque clairement que la résistance des mortiers avec laitiers à progresser rapidement et les résistances des MAPL20 s'approche à celle du MAPL0 et les MAPL40 restent inferieur mais la différence ne dépasse pas les18% par rapport au MAPL0.

A 56 jours, Un taux de 20% de laitier s'avère efficace en terme de résistance, en effet le gain de résistance peut aller jusqu'à 15% contrairement aux mortiers avec un taux de 40% de laitiers qui ont révélé une diminution de 17% au maximum malgré cela on peut dire que ce type a rattrapé partiellement ces résistances par rapport au jeune âge.

Des résultats semblables ont été trouvés par Boubekeur **[109],**qui rapporte qu' avec l'addition de laitier, la résistance du ciment diminue au début, toute fois au bout de 28 jours et plus. Les ciments contenant 15% de laitier ne cèdent en rien au ciment de contrôle sans constituants secondaires, et pour un taux de 30% de laitier les résistances baisse de 10% par rapport au ciment de contrôle, également à des délais avancés, mais même dans ce cas l'effet pouzzolanique de laitier se manifeste de façon évidente.

Le comportement des laitiers est justifié par des recherches approfondies sur l'hydratation des laitiers des hauts fourneaux en présence de ciment, Le mélange de ciment et de laitier qui contenant plus de silice et moins de chaux que le CEMI produit moins de C-S-H a jeune âge ce qui donne des résistances faible à jeune age. Après une hydratation de ciment, l'activation du laitier est principalement calcique de fait de la forte teneur en portlandite produite par l'hydratation des C3S et C2S, qui provoque une réaction des silices avec la chaux fournis par le clinker lors de l'hydratation du ciment. Cette réaction permet de créer les silicates de calcium hydratés C-S-H d'une part et réduire la taille des pores capillaires d'autre part, la microstructure résultante est donc dense, ce qui permet d'améliorer la résistance à long terme et particulièrement la durabilité **[15].**

III.4.2 Résistance à la traction

Les résultats de la résistance à la traction des différents MAP réalisés en fonction de l'âge et le pourcentage de substitution de sable recyclée, de laitier haute Fournaux et la combinaison entre les deux sont présentés dans les Figures III.7 - III.8 - III.9. Suivantes.

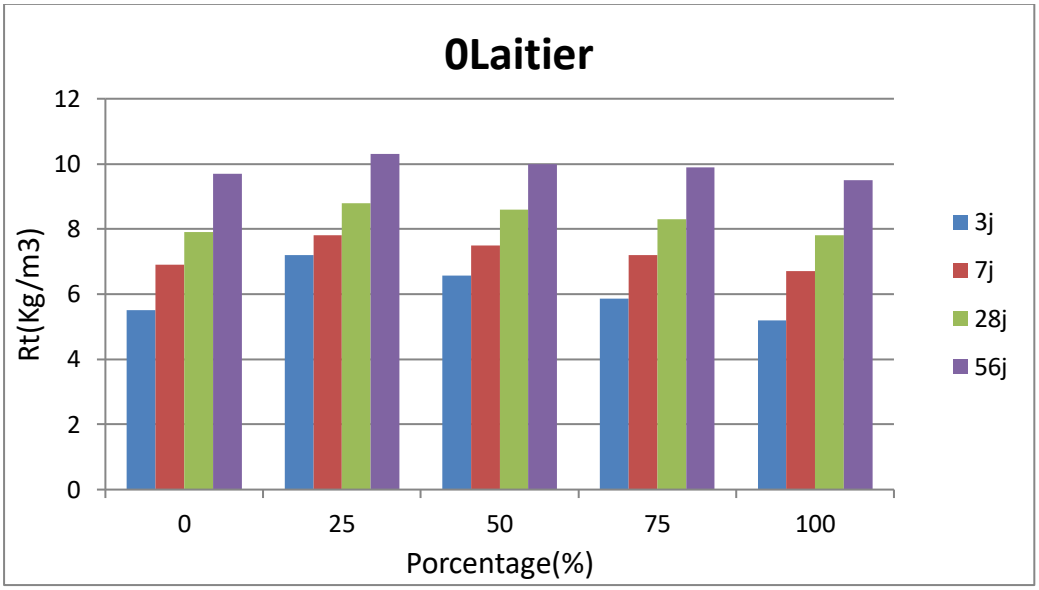


Figure III.7 Résistance à la traction des MAP0L en fonction de taux de sable recyclé.

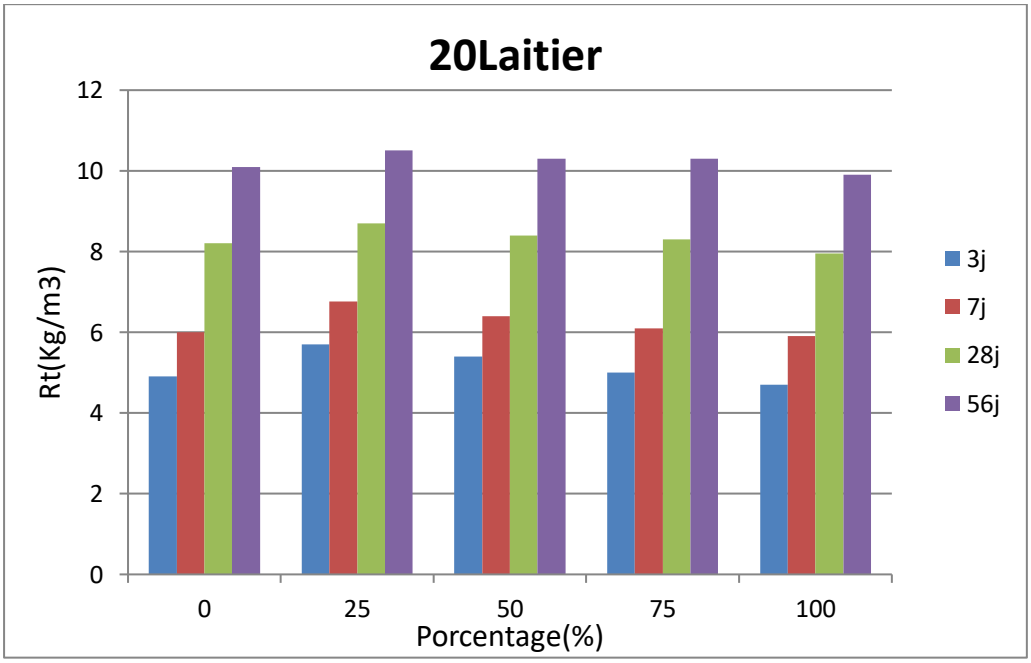


Figure III.8 Résistance à la traction des MAP20L en fonction de taux de sable recyclé.

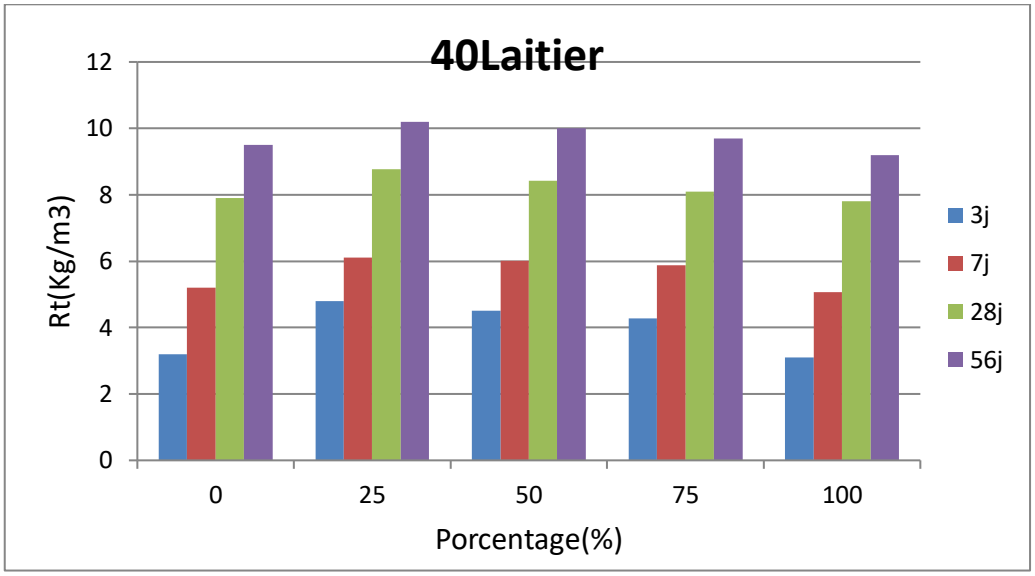


Figure III.9 Résistance à la traction des MAP40L en fonction de taux de sable recyclé.

Les figures III.7-III.9 montre que la variation de la résistance à la traction des mortiers en fonction des différente MAP ; on peut constater que l'évolution de à résistance suite le même cinétique ; pour les différents âges comme la résistance mécanique, augmenté la résistance pour le mélange qui contient 25 %,50% et 75% de substitution qui donne une amélioration de de 25% 19% et 6% respectivement à court terme et 6% ,3 %et 2. % a longe terme, au-delà de ces valeur on constate une diminution faible environ 5% à courte terme et 2% à long terme.

Pour le cas d'utilisation de laitier des hauts Fournaux, il a été constaté une baisse systématique de la résistance à la compression à jeune âge lorsque le pourcentage du laitier augmente, cette diminution est d'ordre de 11% et 41% pour un taux de 20% et 40% de laitier. A partir de 28j on remarque clairement que la résistance des mortiers avec laitiers à progresser rapidement et les résistances des MAPL20 s'approche à celle du MAPL0 et les MAPL40 restent inferieur mais la différence ne dépasse pas les18% par rapport au MAPL0.

A 56 jours, Un taux de 20% de laitier s'avère efficace en terme de résistance, en effet le gain de résistance peut aller jusqu'à 4% contrairement aux mortiers avec un taux de 40% de

laitiers qui ont révélé une diminution de 2% au maximum malgré cela on peut dire que ce type a rattrapé partiellement ces résistances par rapport au jeune âge.

III.4.3 Porosité accessible à l'eau

La durabilité des bétons dépend beaucoup de la porosité, cette dernière conditionne l'intensité des interactions du béton avec les agents agressifs. Les pores à l'intérieur de l'ouvrage facilitent le processus d'endommagement, lequel s'initie généralement en surface. Les résultats de la porosité en fonction du taux de sable recyclé sont présentés dans les figures suivantes (III.10 – III.12), au premier regard on observe que la porosité diminue avec l'âge grâce à la formation des nouveaux hydrates. Une analyse détaillée des graphes prouve que les mortiers avec sable recyclé sont plus poreux que les mortiers produits par le sable naturelle à jeune âge et à long terme quel que soit le taux du laitier utilisé, par exemple pour les MAPL0 la porosité est de 10,23 et 15.65% a jeune âge est de 5.15 et 7.37% à 56 j respectivement pour 0 et 100% de sable recyclé. Cette porosité élevé est un souci pour la fabrication des mortiers a base de sable recyclé, en effet cette porosité revient à deux facteur important :

- La porosité des sables recyclés qui revient à la zone de transition entre les anciens granulats et l'ancien ciment.
- L'évaporation de la quantité d'eau non absorbé par les granulats recyclés et qui est ajouté lors du malaxage.

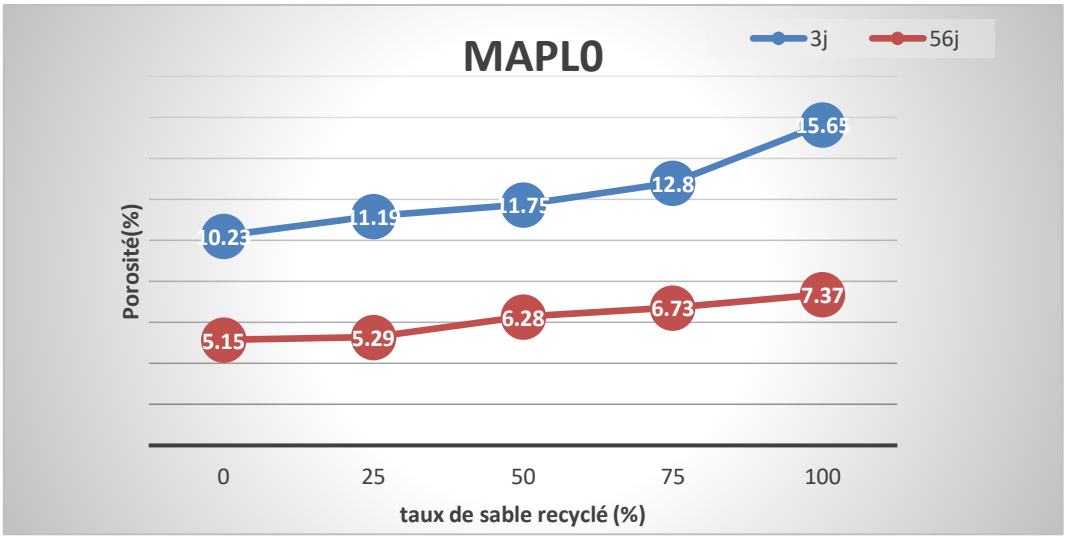


Figure III.10 Porosité des MAPL0 en fonction de taux de sable recyclé.

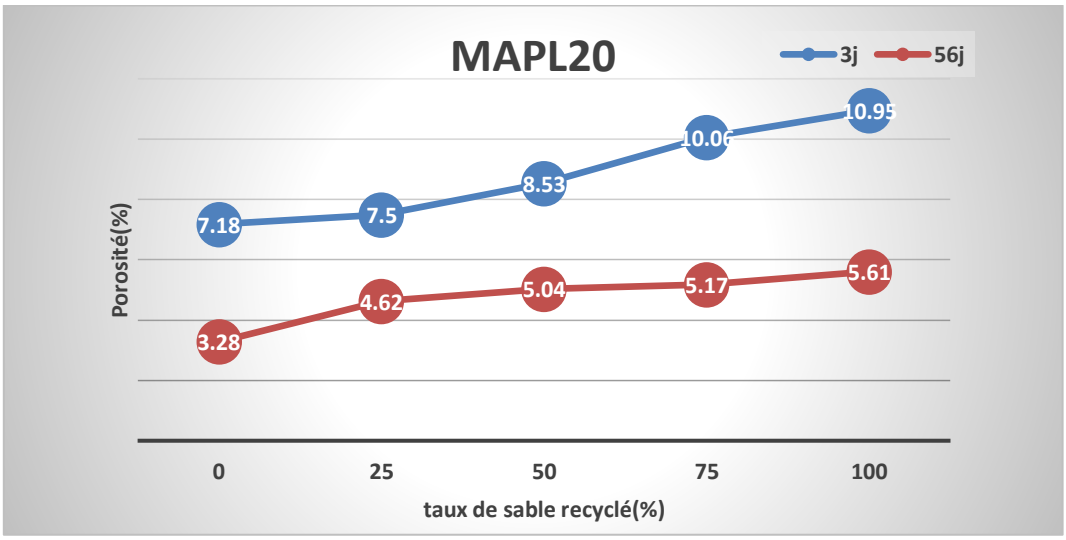


Figure III.11 Porosité des MAPL20 en fonction de taux de sable recyclé.

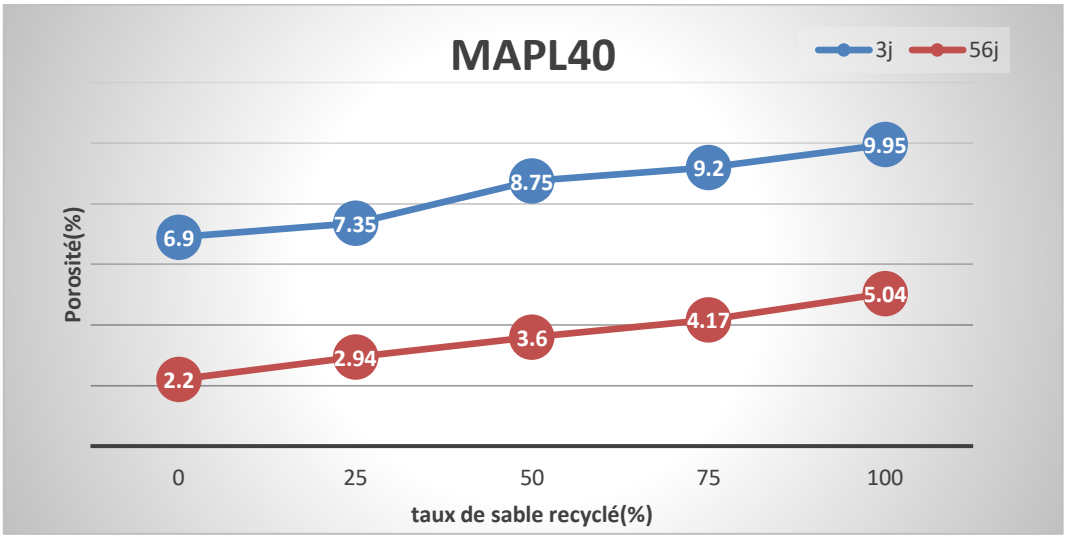


Figure III.12 Porosité des MAPL40 en fonction de taux de sable recyclé.

La substitution du ciment par le laitier a donné un effet très bénéfique pour la porosité, Les valeurs de porosité diminue avec le taux de sable recyclé, a 56j cette dernière est respectivement pour les MAPL0, MAPL20 et MAPL40 de 5.15, 3.28 et 2.2% dans le cas d' un sable naturelle et de 7.37, 5.61 et 5.04% dans le cas de 100% sable recyclé, on observe aussi que le passage du 0 à 20% laitiers a donné plus de résultats d'un passage de 20 à 40% de laitiers.

L'utilisation du laitiers a une finesse de 3800cm2/g est avérée très importante dans le cas des mortiers fabriqué à base de sable recyclé pour améliorer la porosité de ce dernier, de sorte

que 20% du laitier peut couvert la porosité produite par l'utilisation de 75% de sable recyclé, et 40% de laitier peut couvert la porosité produite par l'utilisation de 100% de sable recyclé.

Le laitier incorporé dans le mortier modifie le squelette granulaire du mélange, qui peut compenser un déficit en particules fines. Le squelette se trouve alors optimisé par remplissage d'une partie du volume des vides **[77],** ce qui est appelée l'effet fillers des additions minérale, cet effet est plus prononcé avec l'augmentation de la finesse.

III.4.4 Absorption d'eau par capillarité

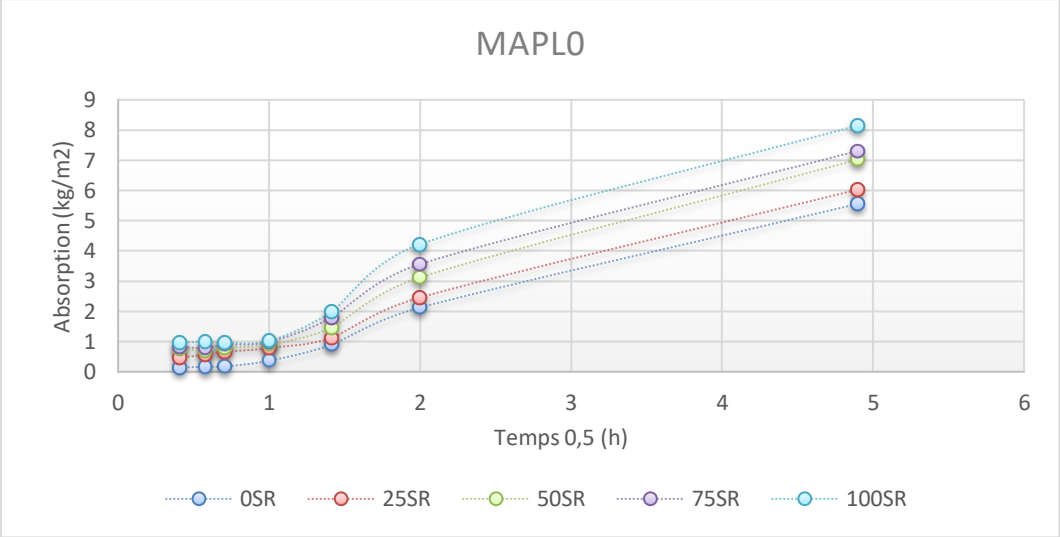


Figure III.13. Absorption par capillarité à 3j des MAPL0 en fonction de taux de sable recyclé.

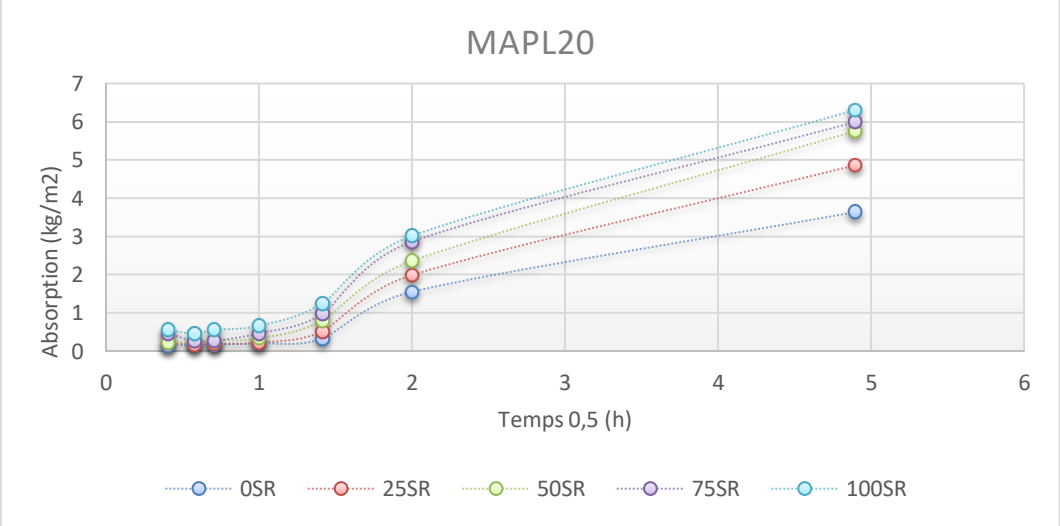


Figure III.14. Absorption par capillarité à 3j des MAPL20 en fonction de taux de sable recyclé.

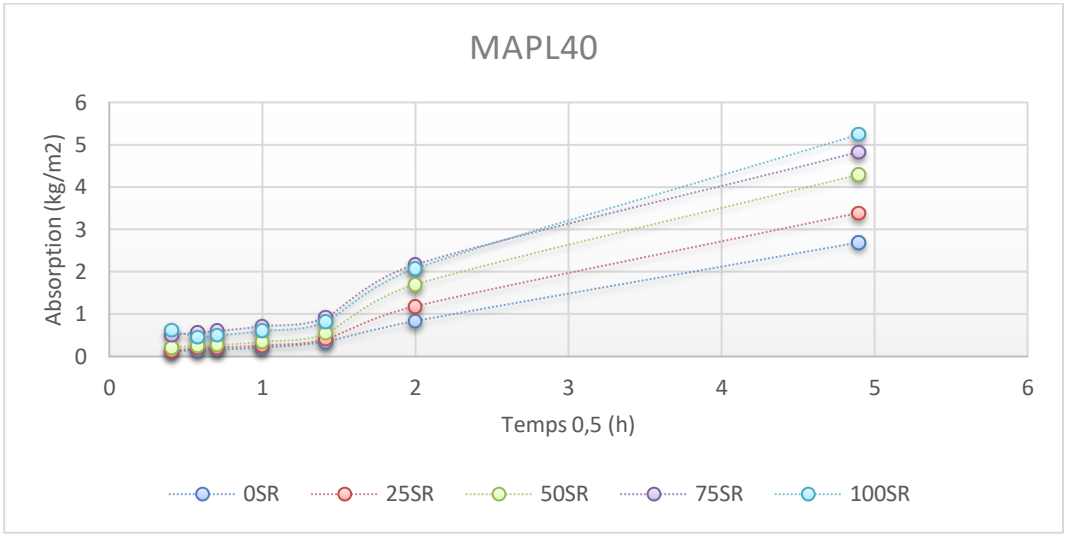


Figure III.15. Absorption par capillarité à 3j des MAPL40 en fonction de taux de sable recyclé.

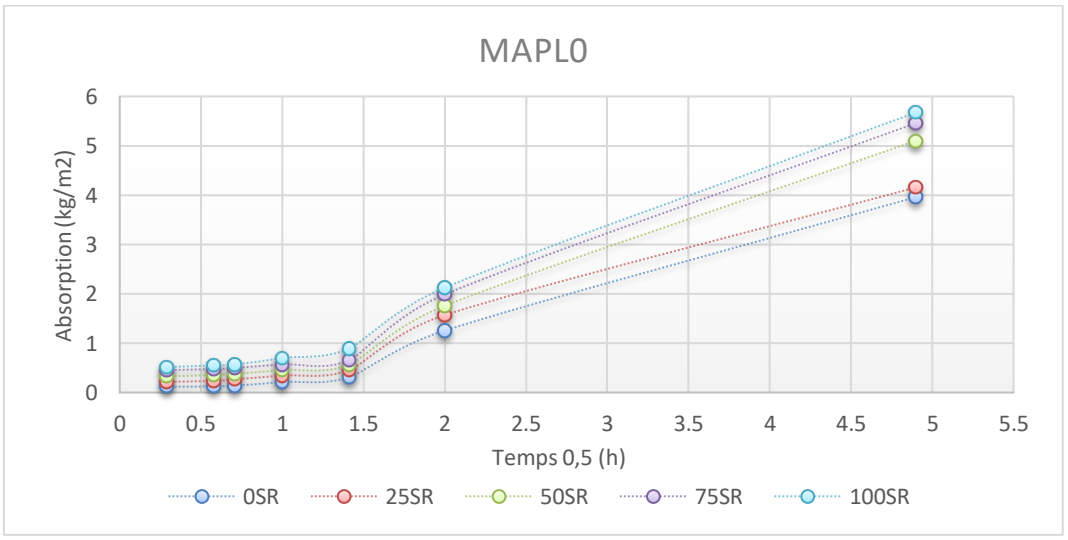


Figure III.16 Absorption par capillarité à 56j des MAPL0 en fonction du taux de sable recyclé.

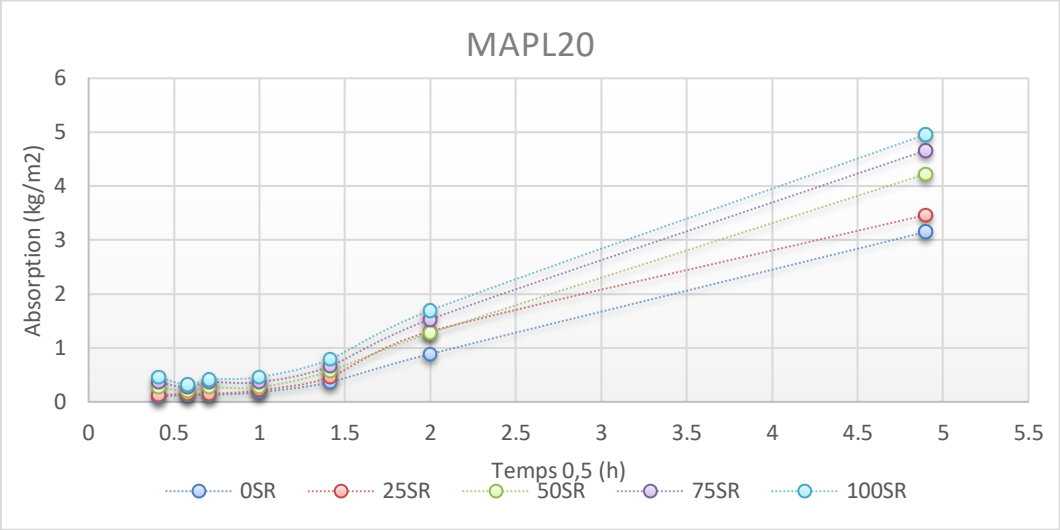


Figure III.17 Absorption par capillarité à 56j des MAPL20 en fonction du taux de sable recyclé.

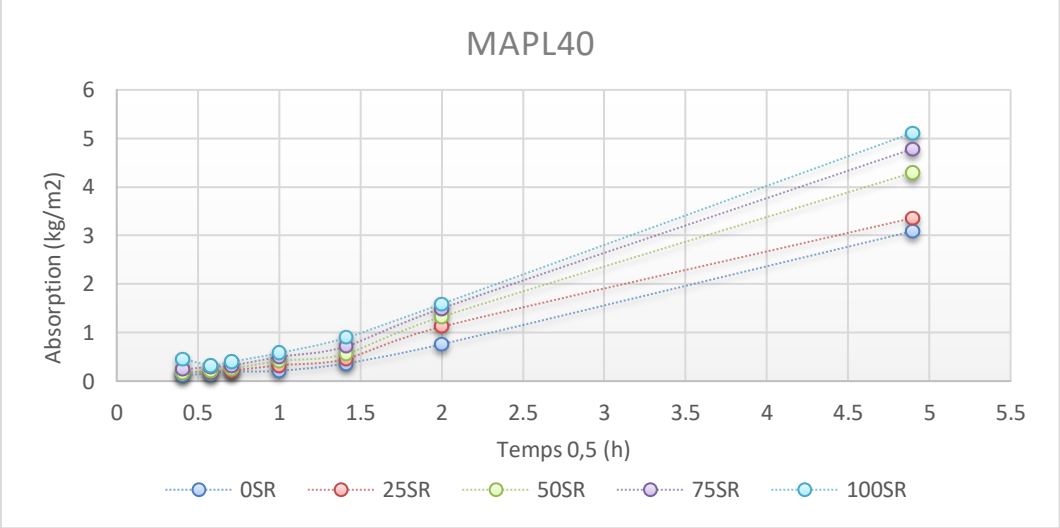


Figure III.18 Absorption par capillarité à 56j des MAPL40 en fonction du taux de sable recyclé.

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité des différents mortiers sont résumés dans les figures suivantes (figures III.13- III.18). Selon les résultats on observe que l'absorption diminue avec l'âge.

Il est claire que l'utilisation de sable recyclé accroit l'absorption des mortiers pour tous les échéances d'essais ce qui est en correlation avec la porosité, les valeurs d'absorption sont plus importante à partir de 50% de sable recyclé, a titre d'exemple pour un taux de 0, 25, 50, 75 et

100% de sable recyclé respectivement les MAPL0 à 56j ont enregistré des valeurs de 3.9, 4.15, 5.1, 5.45 et 5.67 (Kg/m^2).

Par contre l'utilisation du laitier a fait diminué légerement l'absorption où on a enregistré pour un taux de substitution de ciment par 0, 20 et 40% de laitiers des valeurs de 3.96, 3.15et 3.09 (Kg/m^2) pour les mortiers avec sable naturelle respectivement, et de 5.67, 4.95 et 5.11 (Kg/m^2) pour les mortiers qui contient que du sble recyclé. Cela est en concordance avec plusieurs chercheurs **[77].**

III.4 Conclusion

Dans le cadre de cette partie d'étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusion suivantes :

- L'utilisation de sable recyclée pour la fabrication des mortiers autolaçant fait diminue l'utilisation d'adjuvant, même observation pour la substitution du ciment par le laitier des hauts fourneaux.
- Une diminution de la masse volumique est enregistrée pour tous les mortiers par rapport au mortier de référence, Cette diminution est tjrs plus prononcé dans le cas d'utilisation de sable recyclé que dans les laitiers des hauts fourneaux.
- Les résistances mécaniques (Compression / Traction) sont amélioré en fonction de pourcentage de sable recyclé25, 50 et 75 pour les différents âges et pour substitution 20% de laitier haut fourneau à long terme.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Le présent travail vise à fabriquer un matériau économique et écologique par la substitution du ciment par 20 % et 40% le laitier de hautsfourneaux et la substitution du sable naturelle par 25%, 50%, 75%, et 100% de sable recyclé de béton de démolition dans fabrication des mortiers autoplaçant.

A travers le protocole utilisé pour la réalisation expérimentale et à la lumière des résultats trouvés on peut conclure que :

1. Il est possible d'utiliser le sable recyclé de béton de démolition pour la réalisation des mortiers autoplaçant.
2. la fluidité de MAP augmente en fonction du taux de substitution de SR et LHF.
3. L'augmentation du taux de sable recyclé fait diminuer la masse volumique.
4. le sable recyclé améliore la résistance de 13, 12 et 2.4% pour un taux de sable recyclé de 25 %,50%et 75% respectivement à court terme et 15, 12 et 2.6% à long terme, par contre les sables avec 100% sable recyclé ont révélé une diminution de 4% de la résistance.
5. Un taux de 20% de laitier s'avère efficace en terme de résistance, en effet le gain de résistance peut aller jusqu'à 15% à long terme.
6. les mortiers avec sable recyclé sont plus poreux que les mortiers produits par le sable naturelle à jeune âge et à long terme quel que soit le taux du laitier utilisé
7. L'utilisation du laitiers a une finesse de 3800cm^2/g est avérée très importante dans le cas des mortiers fabriqué à base de sable recyclé pour améliorer la porosité de ce dernier, de sorte que 20% du laitier peut couvert la porosité produite par l'utilisation de 75% de sable recyclé, et 40% de laitier peut couvert la porosité produite par l'utilisation de 100% de sable recyclé.
8. L'utilisation du laitier a fait diminué légèrement l'absorption par contre le sable recyclé accroit l'absorption des mortiers pour tous les échéances d'essais ce qui est en corrélations avec la porosité.

REFERENCE

[1] DOMONE P.L., JIN J., 1999« Properties of mortar for self-compacting concrete », Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 13-15 September, 109-120.

[2] WESTERHOLM M., LAGERBLAD B., SILFWERBRAND J., FORSSBERG E., 2008 « Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars » Cement & Concrete Composites, Vol. 30, pp. 274–282.

[3] OKAMURA H., OUCHI M., 2003 « Self-compacting concrete », Journal of advanced Concrete Technology, Vol. 1, N°1, pp. 5-15.

[4] FANG W., JIANXIONG C., CHANGHUI Y., 1999« Studies on Self-Compacting High Performance Concrete with high volume mineral additives » Proceedings of the first International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete in Sweden, pp. 569-578.

[5] BOUKENDAKDJI O., 2010« Etude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant : optimisation des conditions opératoires », Thèse de Doctorat, Département de Génie Civil, Université de Saad Dahleb, Algérie.

[6] KHAYAT K. H., 1999 « Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidationg Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 96, No. 3.

[7] BOUKHELKHALA., 2012 « Rhéologie, Caractérisation Physico-mécaniques Et Durabilité Des Bétons Autoplaçants À Base De La Poudre De Marbre », Mémoire de Magister, Université Ammar Telidji De Laghouat, Algérie.

[8] BACHEN. Sara., 2015 « Effet couplé de la température et des additions minérales sur les caractéristiques mécaniques et la durabilité des bétons auto plaçant »mémoire de Magister, Université Yahia Fares de Médéa.

[9] LIU M., 2009« Wilder application of additions in self-compacting concrete », thèse de doctorat, Université de London, UK.

[10] SONEBI M., BARTOS P.J.M., 1999« Hardened SCC and its bond with reinforcement », Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Sweden, pp. 275-89..

[11] OZAWA K., MAEKAWA K., OKAMURAH., 1992« Development of high performance concrete », Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Vol.41, N°3, pp. 381-439.

[12] FELEKOGLUB., 2008 «A comparative study on the performance of sands rich and poor in fines in self-compacting concrete», Construction and Building Materials J., Vol. 22, N° 4, pp. 646-54.

[13] NOUMOWE A., CARREH., DAOUD A., TOUTANJI H., 2006 « High-strength self-compacting concrete exposed to fire test», Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.18, N°6, pp. 754-8.

[14] SN EN 197-1,2011 «Ciment – Partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants»

[15] LANGE F., MÖRTE H., RUDERT V., 1997« Dense packing of cement pastes and resulting consequences on mortar properties », Cement and Concrete Research J., Vol.27, N°10, pp. 1481-1488.

[16] DREUXG., FESTAJ., 1998 « Nouveau guide du béton et de ses constituants » huitième édition, Eyrolles, France.

[17]

[18] « DTU 26.2. Travaux de bâtiment. Chapes et dalles à base de liants hydrauliques. ».

[19] « DTU 20.1.Ouvrage en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs. ».

[20] EN 1504-6,2006 «Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton »,

[21] MEZIANE El hadj, 2016 « Etude des propriétés mécanique et durabilité de béton à basse de sable de concassage», Thèse de doctorat, Université Saad dahleb Blida 1.

[22] United Nations environment program (UNEP), sand rarer than one thinks http://unep.org/geas/ Technical report, United Nations, consulté en Juin 2014

[23] M. Wimala, A. Fujiki, and K.Kawai. Environmental impact of waste concrete treatment in precast concrete production. School of Engineering, Hiroshima University,Japan, 2011

[24] Vivian W.Y. Tam, Economic comparison of concrete recycling: A case study approach, Resources, Conservation and Recycling 2008 ; 52 : 821–828.

[25] Study on waste generated and treated in Europe, UEPG, 2005.

[26] projet RECY BETON ,2011.

[27] MANSEUR Nabil et ZIANI Sifax., 2014 **«** Étude et caractérisation des granulats recyclés de démolition » Mémoire de Master. Université Abderrahmane Mira-Bejaia,

[28] V. Bastone, A. Rey, J. Druon (2012) – Guide d'utilisation des déchets recyclés pour le BTP à la Réunion (974). Rapport final. Rapport BRGM/RP-60806-FR, 56 p., 20 fig., 10 tab.

[29] NF EN 933-11 : Essai pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats; partie 11 : Essai de classification des constituants des gravillons recyclés, 2009..

[30] NF EN 12620 : Granulats pour béton, 2008.

[31] NF EN 206-1 : Béton - Partie 1 : Spécification, performance, production et conformité, 2006.

[32] BOURMATTE . Nadjoua .,2017 «Granulats recycles de substitution pour beton hydroliques» ,These de Doctorat Sciences, Université de Freres Metouri constantine.

[33] BRUXELLES ENVIRONNEMENT DECEMBRE 2010, l'utilisation des granulats issus du recyclage–IBGE fiche 4.1.

[34] De Juan M.S. and Gutiérrez P.A., Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, Construction and Building Materials, 23 (2), pp. 872-877, 2009

[35] Douara T.H., Caractérisation physiques et chimiques des granulats recyclés et granulats naturels. 2009.

[36] Padmini A.K., Ramamurthy K. and Mathews M.S., Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials, 23 (2), pp. 829-836, 2009.

[37] De Juan MS, Gutiérrez PA, Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. Constr Build Mater 2009; 23(2):872-77.

[38] Tam V.W.Y., Gao X.F. and Tam C.M., Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, Cem Concr Res 2005;35(6):1195–203.

[39] Mehta, P. K. et Monterio, P. J. M.,1986. Concrete (structure, propreties and materials). Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

[40] Naliett Karina SANTAMARIA DIAZ. ,2018 « Valorisation des granulats recyclés dans le béton pour les pavages et trottoirs », Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke.

[41] Berredjem, Les matériaux de démolition une source de granulats pour béton: formulation et caractérisation d'un béton à base de ces recyclés. 2009.

[42] Etxeberria M., VAZQUEZ A., MARI A. and BARRA M., Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled concrete, Cement and concrete research, pp. 2007Study on waste generated and treated in Europe, UEPG, 2005.

[43] Katz A., Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, Cement and concrete research, 33 (5), pp. 703-711, 2003.

[44] Tam V.W.Y., Wang K. and Tam C.M., Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis, Journal of Hazardous Materials, 152 (2), pp. 703-714, 2008

[45] Gómez-Soberón J.M.V., Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study, Cement and concrete research, 32 (8), pp. 1301-1311, 2002.

[46] GRONDIN .Aurélie., 2011« valorisation des granulats recyclés de béton : Etude des caracteristiques physiques et mecaniques des bétons de granulats recyclés de béton», Mémoire Projet de fin d'étude.

[47] M.B. Leite and V.M. Santana, « Evaluation of an experimental mix proportion study and production of concrete using fine recycled aggregate », Journal of Building Engineering, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.016

[48] Erhane ,2016 «Rheological and fresh properties of self-compacting concretes containing coarse and fine recycled concrete aggregates» Construction and Building Materials 113 (2016) 622–630

[49] EFNARC, Specifications and Guidelines for Self-compacting Concrete, EFNARC,UK, 2005. pp. 1–45.

[50] kou ; 2009 « Propertion of concerte prepared with crushed fin stone furnace bottom ash and fin recycled aggregate as fine ; Construction and Building Materials 23 (2009) 2877–2886.

[51] T.Y. Tu, Y.Y. Chen, C.L. Hwang, Properties of HPC withrecycled aggregates, Cem. Concr. Res. 36 (5) (2006) 943–950.

[52] S.C. Kou, C.S. Poon, Effect of the quality of parent concrete on the properties of high performance recycled aggregate concrete, Constr. Build. Mater. 77 (2015) 501–508.

[53] kamar ,2017 «Experimental studies on utilization of recycled coarse and fine aggregates in high performance concrete mixes» Alexandria University ,Alexandria Engineering Journal.

[54] jiank ,2018 «Feasibility of manufacturing ultra-high performance cement-based composites (UHPCCs) with recycled sand: A preliminary study» Waste Management 83 (2019) 104–112.

[55] tahar et al ,2017 «Effect of cement and admixture on the utilization of recycled aggregates in concrete» Construction and Building Materials 149 (2017) 91–102.

[56] M. Safiuddin, SN , MF N.Zain. Utilization of quarry fine aggregate in connrete mixtures. Journal of applied sciences research, 3(2007)202-8.

[57] M.solyman, classification of recucled sand their applications fine aggregates for concrete and bituminous mixtures (Ph.D. thesis). Kassel,2005.

[59] TEBBAL Nadia.,2017 «Effet de la nature des granulats sur les propriétés physicomécaniques et durabilité d'un béton à haute performance» Présentée en vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA.

[60] KOMMAR. A.. « Matériaux et éléments de constructions ».
Moscou, édition Mir, 1975.

[61] OLIVIER. E.. « Technologie des matériaux de constructions ». Tome 2.
Edition EM, 1978.

[62] REGOURD M., « Les laitiers de haut fourneau », rapport principal du 8ème Congrès International de la Chimie du Ciment, Rio, volume 1, thème 3, 1986, p 200 – 229

[63] DEMOULIAN E., GOURDIN P., HAWTHORN F. et VERNET C., « Influence de la composition chimique et de la texture des laitiers sur leur hydraulicité » , 7ème Congrès International de la Chimie du Ciment, Paris, volume 2, thème 3, 1980, p 89 - 94.

[64] SMOLCZYK H. G. , Duisburg, Rheinhausen, « L'influence de la chimie du laitier sur les résistances des ciments de haut fourneau », Zement, Kalk Gips n°6, 1978

[65] OUVERON. L, OUDINE. L.. « Cours de métallurgie ». Edition Eyrolles.

[66] ALEXANDRE L. et SEBILEAU J L., « Le laitier de haut fourneau », édité par le centre technique et de promotion des laitiers, 1988, 340 p.

[67] Document technique du laboratoire de la cimenterie de HADJR SOUD, Décembre 2002.

[68] ROPER H., « Composition, morphologie, hydratation et propriétés adhésives de quelques laitiers granulés », 7ème Congrès International de la Chimie du Ciment, Paris, volume 2, thème 3, 1980, p 13 – 17.

[69] VON EUW . M.. « Les laitiers de haut fourneau ». Annales de ITPBP , 1981**.**

[70] GETER. M.. « Métallurgie de fonderie ».Tome 2. Eyrolles 1978.

[71] CHAMPION. P et GUELLET. L.. « Diagrammes de phases des matériaux cristallins ». Edition Masson, 1981.

[72] BELGHIT .Chahine, 2009 « CONTRIBUTION A LA FORMULATION D'UN BETON AUTOPLAÇANT A BASE DE MATERIAUX LOCAUX Effet du laitier granulé micronisé sur l'ouvrabilité » Présentée en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER ,Université Badji-Mokhtar-ANNABA

[73] Shi Y.X., Matsui I. and Guo Y.J. "A study on the effect of fine mineral powders with distinct vitreous contents on the fluidity and rheological properties of concrete" Cement and Concrete Research, 2004, vol 34, pp. 1381–1387.

[74] Li Z. and Ding Z. "Property improvement of Portland cement by incorporating with metakaolin and slag" Cement and Concrete Research, 2003, vol 33, pp. 579-584.

[75] Necira B., Guettala A. et Chabi S. "Formulation des bétons autoplaçants: Effet des ajouts minéraux et des adjuvants" Sciences Technologies et Développement – ANDRU, 2007, N°2, pp. 66-79.

[76] Kadri E.H. and Duval R.2001 "Effect of silica fume on the heat of hydration of high-performance concret" The Seventh CANMET/ACI International conference on Fly Ash, Selica Fume, Slag and Natural Pozzolans in concrete, Madras, India, pp. 22-27.

[77] BAHIM Mourad., 2005 «Sous-produits industriels et développement durable : Réactivité, rôle et durabilité des laitiers d'el hadjar dans les matériaux à matrice cimentaire » présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat d'état, Université Badji Mokhtar-Annaba.

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

[79] Brooks J.J., Johari M.A.M. and Mazloom M.2000 « Effect of admixtures on the setting times of high-strength concrete » Cement & Concrete Composites, vol 22, pp. 293-301.

[80] Derabla. Riad., 2015 «Propriétés physico – mécaniques des mortiers et des ciments élaborés à base de laitier granulé d'El Hadjar» Université 20 août 1955-Skikda ,

[81] Á. Sanjuán .Á, 2018 «Effect of curing time on granulated blast-furnace slag cement mortars carbonation» , Cement and Concrete Composites (2018), doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.04.006.

[82] E. Gruyaert, P. Van den Heede, N. De Belie,2013" Carbonation of slag concrete: effect of the cement replacement level and curing on the carbonation coefficient– effect of carbonation on the pore structure", Cem. Concr. Compos.35 39–48. http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.024

[83] Amrane A. et Kenai S. 1994« Propriétés mécaniques et durabilité du béton au laitier en climat chaud » Proceedings du séminaire international sur la qualité du béton en climat chaud, Ghardaia, pp. 106-122.

[84] Kateb M.L.,2006 "formulations des Bétons Autoplaçants à base de Laitier" Mémoire de Magister, U.S.T.H.B., 139 pages.

[85] FELEKOGLU B., TURKEL S., BARADAN B., 2007 « Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete » Building and Environment J., Vol. 42, pp. 1795–1802.

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

[87] HABBOUCHE A.,2002 « Propriété mécaniques et durabilité du béton a base de sable de concassage » Mémoire de Magistère, Département de Génie Civil, Université de SAAD DAHLEB Blida, Algérie.

[88] BOUCETTA –Tahar ALI ., 2014 «Contribution du laitier granué et de la poudre de verre sur es propriétés d'écoulment et de durabiité des béton autoplaçants et de hautes performances » Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT 3ème Cycle, Université Badji Mokhtar-Annaba.

[89] HAMRAOUI Somia et REBAIA Zohra 2017 « Etude de l'effet des additions minérales sur le comportement d'un mortier auto plaçant traité thermiquement» projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master ,Université Yahia Fares de Médéa.

[90]

[91] CEN EN 196-1 Nome française CENEN 196-1,1995 ≪ Méthode d'essais des ciments, partie I : ≪ Détermination des résistances mécanique ≫ AFRON, Paris, Aout .

[92] NF EN 933-1, 1997, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[93] NF EN 1097-6, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

[94] NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire », AFNOR.

[95] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[96] NF EN 1008, 2003,« Eau de gâchage pour bétons: spécification d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton », AFNOR.

[97] XIONG X., VAN BREUGEL K., 2003 « Hydration processes of cements blended with limestonepowder -Experimental study and numerical simulation » , Proceedings of the 11th ICCC , Durban.

[98] HAMMAT S., 2012« Influence du laitier et de la pouzzolane sur retrait des mortiers autoplaçants ». Mémoire de Magister, Université Saad Dahleb de Blida, Algérie.

[99] Khatib J.M. and Hibbert J.J. "Selected engineering properties of concrete incorporating slag and metakaolin" Construction and Building Materials, 2005, vol 19, pp. 460-472.

[100] daigo ;2015 « Stady of the rheology of self-compreting concert with recycled concrete aggregates »

[101] NAWA T., IZUMI T., EDAMATSU Y., 1998 «State- of- the-art- report on materials and design of self-compacting concrete» Proc. of Int. Workshop on Self-compacting Concrete, Kochi University of Technology, Japan, pp. 166-190.

[102] DOMONE P.L., JIN J., 1999« Properties of mortar for self-compacting concrete », Proceedings of RILEM International Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, 13-15 September, 109-120.

[103] CHAI H., 1998 « Design and testing of SCC» Ph.D Thesis, University College of London (UCL), 259 pages.

[104] AMOURI Chahineze, 2013 Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité), Présentée pour obtenir du diplôme de Doctorat en science en Génie Civil, Université Mentouri Constantine.

[105] NF EN 12390-5, 2001, « Essai pour béton durci. Partie 5 : Résistance à la flexion des éprouvettes », AFNOR.

[106] NF EN 1015-18, 2003, « Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - partie 18 : détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarite du mortier durci -», AFNOR.

[107] Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, Compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « Durabilité des bétons », Toulouse, France.

[108] Ginette A. & Hugues H., 2007, « Grandubé : Grandeurs associées à la durabilité des bétons », Association française de génie civil, Presses de l‟école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

[109] T. Boubekeur, Mohamed Salhi . 2012 « Effet du laitier sur la durabilité des ciments à base de calcaire. er séminaire national de génie civil », Souk-Ahras

ANNEXES

ANNEXE A : Fiche technique du MEDAFLAW 30

NOTICE TECHNIQUE 2119

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2:TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774

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 sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.
Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet de retard de prise.

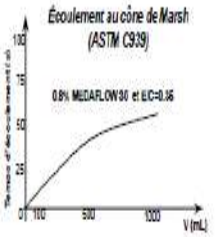
DOMAINES D'APPLICATION

- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons compés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferraillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP et BUHP.
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

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 ..... 6 – 8,5
- Densité ..... 1.07 ± 0.01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

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.

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 - E-mail: granitex@granitex.dz

82

NOTICE TECHNIQUE 2119

MEDAFLOW 30

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 60 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le MEDAFLOW 30 peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du superplastifiant.

Il est conseillé d'ajouter le MEDAFLOW 30 à un béton qui ne soit pas trop ferme

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,86 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

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubiténaire 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**

NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence 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.

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 - E-mail: granitex@granitex.dz

83

ANNEXE B : mesure de la finesse de mouture (Surface Spécifique de Blaine) :

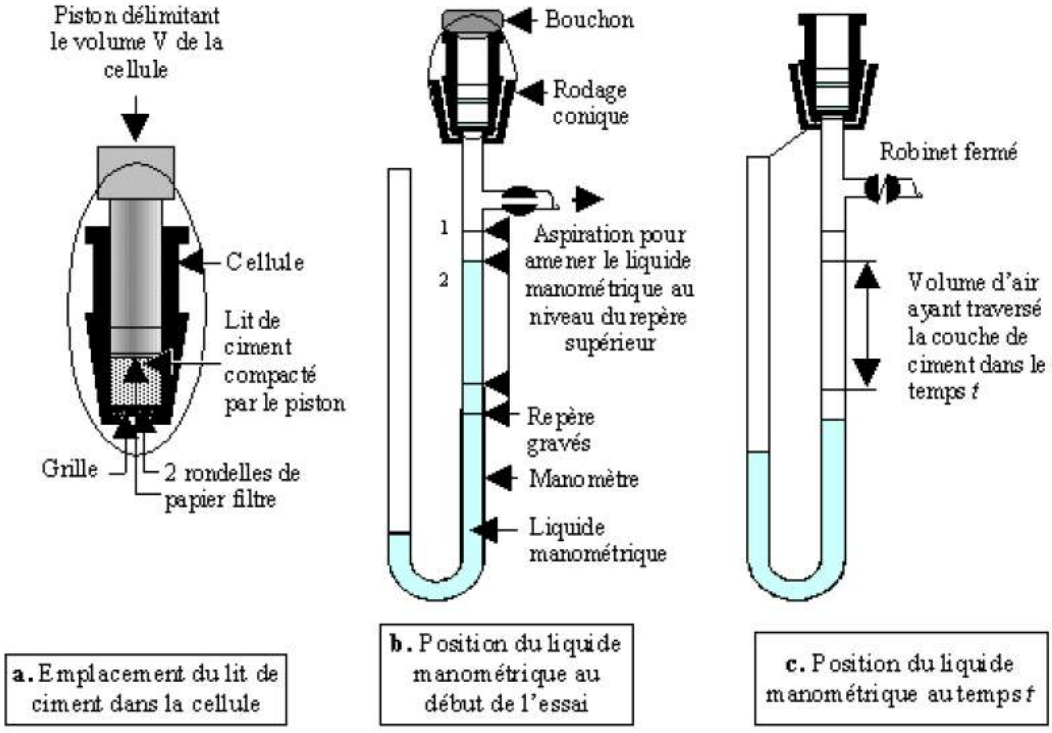
Pour cet essai, on a :

- Placer la grille au fond de la cellule. Appliquer sur cette grille, au moyen d'une tige à face inférieure plane et d'une équerre, un disque neuf de papier filtre ;
- Verser le ciment lentement dans la cellule en utilisant un entonnoir ;
- Donner quelque légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du ciment, puis placer sur celui-ci un autre disque neuf de papier filtre ;
- Tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule;
- Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur ;
- Enduire de vaseline les parois extérieures de la cellule ;
- Placer la cellule sur l'appareil et enlever le piston lentement (Il est commode de pratiquer une légère rotation alternative) ;
- Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne le trait supérieur (n°1).Fermer le robinet ;
- Lorsque le niveau de liquide atteint le deuxième trait (n°2), déclencher le chronomètre ;
- Arrêter le chronomètre quand le niveau de liquide atteint le troisième trait (n°3) ;
- Relever le temps écoule t1 à 0.2s près ainsi que la température de la salle à 0.1 °C près ;
- L'essai est répété une deuxième fois sur le même lit de ciment. Puis un deuxième lit est préparé et essayé de la même manière. Soit t la moyenne des quatre temps ainsi obtenus.
- La surface spécifique (massique) du ciment SSB est calculée par la formule :

$$S_{cm^2/g} = K\frac{\sqrt{e^3}.\sqrt{t}}{\rho(1-e)\sqrt{0.1\eta}}$$



Perméabilimètre de Blaine



Principe de fonctionnement du perméabilimètre de Blaine

ANNEXE C : Programme de formulation de mortier autoplaçant

Essais sur Mortier					entrer data dans cellules en rouge						
					valeurs calculées dans cellules en noir						
Référence du mélange	**0RCFA**	CEM I 42,5 sans ajout			Date	43138,000					
volume de mortier (litres)	1,000										
sable/mortier vol	0,500										
E/P par vol.	1,196	poudre vol (/.)	22,769	Eau volume (/.)		27,231	E/P par poid	0,380			
composition Poudre(vol /.)		type									
ciment portland	100,000										
Laitier	0,000										
Fumée de Silice	0,000										
Pouzolane	0,000										
superplast - MEDAFLOW3	1,200	/. (Sp/P)									
humidité sable											
		humidité (/.)	absorption (/.)	correction (/.)							
poids humide (gms)	200,000	**0,000**	0,500	**-0,500**							
poids sec (gms)	200,000										
Materiaux/Type	vol	densité			contenance d'eau		**poid mélange**				
	litres	kg/m³	kg	/.	kg						
ciment	0,228	3150,000					**0,717**				
Laitier	0,000	2820,000					**0,000**				
Calcaire	0,000	2544,000					**0,000**				
Pouzolane	0,000	2590,000					**0,000**				
Eau	0,272	1000,000	0,272				0,273	**W1**	**0,191**		
			total					**W2**	**0,082**		
superplast - MEDAFLOW30		1065,000	0,009	70,000	0,006		**0,008607**				
Sable	0,500	2630,000	1,315	-0,500	-0,007		**1,308**				
Total	1,000						2,307				

	poid(g)
ciment	**717,2**
sable naturel	**1308,4**
sabe recyclé	**0,0**
e1	**191,0**
e2	**81,9**
sp	**8,6**