



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N°d'enregistrement

Université de Ghardaïa

/...../...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine:ST

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structures

Thème :

**Effets du filler calcaire sur la durabilité de mortier auto-plaçant exposé aux attaques chimiques**

Déposé le : 17/06/2021

Par

NAOUM Mohamed amine & SAYEH BEN AISSA Khaled

Évalué Par le jury composé de :

Nessil abdelhamid

MAA.

Univ Ghardaïa

Evaluateur

Azzouz Fatima

MAA.

Univ Ghardaïa

Evaluateur

SALHI Aimad

MAA.

Univ Ghardaïa

Encadreur

Année universitaire : 2020/2021



# Dédicaces

*Je dédie ce travail à :*

*Ma Mère et mon Père qui me sont les plus chers*

*au monde A mes frères*

*A ma famille*

*A tous mes amis et collègues*

*A tous ceux qui m'ont aidé à finir ce mémoire*

**Sayah ben aissa khaled**

# Dédicaces

*Ce modeste travail est  
dédié : À nos familles*

*À nos amis*

*À chaque professeur qui nous a appris les  
lettres A tous ceux qui nous connaissent*

*Et ne nous épargnent pas leurs  
sourires A tous sans exception*

*Avec beaucoup  
d'amour*

# Remerciements

*Nous remercions avant tout mon dieu, C'est grâce à lui seul que nous avons pu achevé ce modeste travail.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur :*

*Mr Aimad SALHI, de nous voir fait profiter de ces grandes compétences et ces conseils judicieux et de nous avoir dirigés avec efficacité et grande patience.*

*Merci et encore merci nos professeurs qui ont contribué à notre apprentissage et à notre savoir depuis l'école primaire jusqu'à l'université.*

*Nous associons à ces remerciements tous les travailleurs du Laboratoire LTPS Ghardaïa.*

*Merci, à nos familles, de nous avoir encouragé et soutenu.*

*Merci, mes chères collègues et mes chers camarades pour m'avoir permis de passer cinq belles années à l'université.*

*Merci, à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

# Résumé

---

## Résumé

Le Map C'est un composant de base dans la construction. Il est composé de sable de vallées, Ciment, l'eau et quelques additifs si possible et Il affecte le coût des matériaux. Dans cette étude expérimentale, nous avons remplacés le ciment avec le filler de calcaire avec certains pourcentages (5%,10%,20%), afin de réduire la quantité d'exploitation du ciment et à améliorer l'étalement, la liquidité et la disposition, la compression et la flexion rhéologique et mécanique à certaines périodes (2jour,7jour,28jour,2mois).et selon certaines des essais (mini con, v final). En plus, nous avons inclus des pourcentages d'additifs à la place de l'eau pour améliorer la fluidité et la diffusion, il s'agit également de réduire l'exploitation du ciment en combinant certains matériaux.

Les résultats tirés de ce travail de recherche confirment que le taux de 5% F avec témoin donne la meilleure résistance des mortiers binaires au long terme.

**Mots clés** : ciment, fillers calcaires, le mortier auto placent, résistance mécanique, durabilité, Map

### ملخص

الملاط هو مركب اساسي في البناء .ويتم صناعته من الرمال الوديان والاسمنت والماء وبعض الاضافات ان امكن .وهذا يؤثر على التكاليف المادية .وفي هذه الدراسة التجريبية التي قمنا بها بأدراج مسحوق الكلس مكان الاسمنت وفق نسب مؤوية معينة التي تساهم في انقاص كمية استغلال الاسمنت وتحسين الانتشار والسيولة والتصرف الريولوجي والميكانيكي ك الضغط والانحناء وذلك في مدد معينة ووفق بعض التجارب ( ) .وايضا قمنا بأدراج نسب من الإضافات مكان الماء .لتحسين السيولة وانتشاره وهذا ايضا لتقليل من استغلال الاسمنت بدمج بعض المواد .

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها من هذا العمل البحثي ان 5 من مسحوق الكلس مع ملاط التحكم يعطي افضل مقاومة للملاط تتائي على مدى الطويل

## Sommaire

Dédicace.....	III
Remerciements.....	V
Résumé.....	IV
ملخص.....	VII
Liste de tableau.....	XII
Liste de figures.....	XIII
Introduction général.....	XV

### Chapitre I : généralités et caractérisations de mortier autoplaçant

<b>I.1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>I.2 Mortiers.....</b>	<b>1</b>
I.2.1 Définition de mortier.....	1
I.2.2 Structure de MAP.....	2
I.2.3 Un volume de pâte élevé.....	2
I.2.4 Le rôle d'utilisation de mortier.....	3
I.2.5 Une quantité importante de fines.....	3
I.2.6 Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal .....	3
<b>I.3 Méthodes de formulation.....</b>	<b>4</b>
I.3.1 Méthode d'Oka mura.....	4
I.3.2 malaxage de Map.....	5
I.3.3 Composition des Map.....	6
<b>I.4 Caractérisation de MAP à l'état frais et l'état durci.....</b>	<b>6</b>
I.4.1 Fluidité et déformabilité de MAP.....	6
I.4.2 Étalement au Mini cône de pâte.....	7
I.4.3 Essais de déformabilité de l'Entonnoir en V (V-funnel).....	8
I.4.4 Conservation des éprouvettes .....	9
I.4.5 Essais De La Résistance A La Traction Par Flexion.....	9
I.4.6 Essais De La Résistance A La compression Par Flexion.....	10
<b>I.5 Conclusion.....</b>	<b>12</b>

## Chapitre II : Les ajouts minéraux et les attaques chimique

<b>II.1 introduction.....</b>	<b>13</b>
<b>II.2 définitions des ajouts cimentaires.....</b>	<b>13</b>
<b>II.3 Rôle de l'ajout cimentaire.....</b>	<b>15</b>
II.3.1 Rôle de la granulométrie de l'ajout.....	15
<b>III.4 classifications des ajouts minéraux.....</b>	<b>15</b>
II.4.1 Principaux ajouts minéraux inertes.....	16
II.4.1.1 Fillers calcaire.....	16
II.4.1.1.1 Propriétés Requises Du Filler Calcaire.....	16
II.4.1.1.2 L'utilisation Des Fillers Calcaires.....	16
II.4.1.1.3 Le Rôle Des Fillers Calcaire.....	17
II.4.1.1.4 Influence Des Fillers Calcaires Sur Les propriétés Des Bétons.....	18
II.4.1.1.5 Fillers Calcaire Et Résistance Mécanique.....	18
II.4.2 Les ajouts minéraux actifs.....	19
II.4.2.1 Laitier granulé des hauts fourneaux.....	19
II.4.2.2 Cendres volantes.....	20
II.4.2.3 Fumées de silice.....	21
II.4.2.4 Les pouzzolanes naturelles.....	22
II.4.2.5 Le verre.....	23
<b>II.5 l intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil.....</b>	<b>24</b>
II.5.1 l intérêt du point de vue technique.....	24
II.5.2 Intérêt du point de vue économique.....	24
II.5.3 Intérêt du point de vue environnemental.....	25
II.6 Effets des ajouts sur les propriétés des bétons.....	25
II.6.1 Amélioration de l'ouvrabilité .....	25

## Sommaire

---

II.6.2 Durabilité .....	25
II .6.3 Développement des résistances .....	26
II.6.4 Développement des bétons à haute résistance.....	26
II.7 L'utilisation des ajouts en Algérie .....	26
<b>II.8 Durabilité des bétons et mortiers .....</b>	<b>26</b>
II.8.1 Définition.....	26
II.8.2 Les attaques chimiques des bétons et mortiers .....	27
II.8.2.1 Attaques des acides .....	28
II.8.2.2 Sources des acides .....	28
II.8.2.3 Mécanisme d'attaque .....	29
<b>II.9 Conclusion .....</b>	<b>30</b>
 <b>Chapitre III : Caractérisation des matériaux et méthodologie de travail</b>	
<b>III.1 introduction.....</b>	<b>32</b>
<b>III.2 objectifs du travail.....</b>	<b>32</b>
<b>III.3 caractérisations des matériaux utilisés.....</b>	<b>32</b>
III.3.1 Le ciment .....	32
III.3.1.1 Définition et généralité sur le ciment .....	32
III.3.1.2 Classification des ciments courants .....	33
III.3.1.3 types de Le ciment utilisés.....	35
III.3.1.4 Caractérisation chimique .....	35
III.3.1.5 Caractérisations physiques .....	36
III.4 le sable .....	36
III.4.1 Analyse granulométrique .....	37
III.4.2 Le module de finesse .....	38
III.4.3 Equivalent de sable.....	39
III.4.4 Masse volumique (absolue).....	44
III.4.5 Masse volumique apparente .....	46

## Sommaire

---

III.5 Le filler calcaire.....	47
III.5.1 Caractérisation chimique de Filler calcaires :.....	47
III.6 L'eau de gâchage .....	48
III.7 L'adjuvant (superplastifiant) .....	48
III.7.1 Domaines d'application .....	48
III.7.2 Caractères généraux .....	48
III.7.2.1 Stockage.....	48
III.7.2.2 Caractéristiques .....	49
III.7.2.3 Conditions d'application .....	49
III.7.2.4 Propriétés et effets .....	49
<b>III.8 Essai de perte de masse (durabilité).....</b>	<b>50</b>
<b>III.9 Conclusion .....</b>	<b>51</b>

## Chapitre IV : Résultats et interprétations

<b>IV.1 introduction.....</b>	<b>53</b>
<b>IV.2 résultats de l'essai de flexion.....</b>	<b>53</b>
IV.2.2 résultats de l'essai de compression.....	55
<b>IV.4 Résultats de l'essai de perte de masse (durabilité).....</b>	<b>56</b>
IV.4.1 Variation de la masse dans la solution 5% d'acide HCL .....	56
IV.4.2 Variation de la masse dans la solution 5% d'acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	58
IV.4.3 Variation de la masse dans l'eau .....	59
<b>IV.5 conclusions.....</b>	<b>61</b>

### Liste des tableaux

(Tableau I.1) : Composition des 4 formulés de Map	6
(Tableau II.1): Classification des ajouts selon leur réactivité	15
(Tableau III.1): Les différents types de ciment courants	33
(Tableau III.2): Caractérisation chimique de ciment	34
(Tableau III.3): caractérisation physiques de ciment	35
(Tableau III.4): essai d'Analyse granulométrique	38
(Tableau III.5): Résultat de l'essai de l'équivalente de sable	41
(Tableau III.6): les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable. Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable.	42
(Tableau III.7): Masse volumique absolue du sable Laghouat	44
(Tableau III.8): Masse volumique apparente du sable d Laghouat	46
(Tableau III.9): Caractérisation chimique du calcaire de Hassi Messaoud	46
(Tableau IV.1): Résultats de flexion	51
(Tableau IV.2): Résultats de compression	53
(Tableau IV.3): Résultats de perte de masse dans la solution 5% d'acide HCL	54
(Tableau IV.4): Résultats de perte de masse dans la solution 5% d'acide sulfurique H2SO4	56
(Tableau IV.5): Variation de la masse dans la solution l'eau	57

**Listes des figures**

<b>Chapitre I</b>	
<b>(Figure I.1):</b> Mortier en état frais	1
<b>(Figure I.2):</b> Constituents des mortiers.	2
<b>(Figure I.3):</b> Malaxeur	5
<b>(Figure I.4):</b> essai Dimensions de Mini cône à mortier	7
<b>(Figure I.5):</b> l'essai de Mini cône à mortier	7
<b>(Figure I.6):</b> essai V-Funnel	8
<b>(Figure I.7):</b> éprouvettes	9
<b>(Figure I.8):</b> essai à flexion	10
<b>(Figure I.9):</b> essai compression	11
<b>Chapiter II</b>	
<b>(Figure II.1) :</b> Différents types d'ajouts cimentaires	14
<b>(Figure II.2) :</b> Illustration de l'effet filler	17
<b>(Figure II.3) :</b> Filler de calcaire	19
<b>(Figure II.4) :</b> Laitier de haut fourneau	20
<b>(Figure II.5) :</b> Vue par MEB d'une cendre silico-alumineuse	21
<b>(Figure II.6) :</b> Poudre de Fumées de silice	22
<b>(Figure II.7):</b> pouzzolanes naturelle	23
<b>(Figure II.8) :</b> La poudre de verre	24
<b>(Figure II.9):</b> La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage	28
<b>(Figure II.10):</b> échantillons du MAP après l'immerge dans la solution acide H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> et HCL (B)	28

## Liste des figures

<b>Chapitre III</b>	
<b>(Figure III.1) :</b> Ciment Awtad CEM I 42,5 N-SR3	34
<b>(Figure III.2) :</b> Les sable alluvionnaire	35
<b>(Figure III.3) :</b> Essai d'analyse granulométrique	37
<b>(Figure III.4) :</b> Essai d'équivalent de sable	40
<b>(Figure III.5) :</b> récipient rempli par l'agrégat et l'eau	44
<b>(Figure III.6) :</b> récipient rempli par le sable	45
<b>(Figure III.7) :</b> Échantillons du mortier l'immerge dans les solutions acides 5% $H_2SO_4$ et HCL	49
<b>(Figure III.8) :</b> Échantillons du mortier l'immerge dans les l eau	50
<b>Chapitre IV</b>	
<b>(Figure IV.1):</b> résistance de flexion	52
<b>(Figure IV.2) :</b> résistance de compression	53
<b>(Figure IV.3) :</b> variation de la masse dans la solution 5% d'acide Hcl	55
<b>(Figure IV.4) :</b> variation de la masse dans la solution 5% d'acide sulfurique $H_2SO_4$	56
<b>(Figure IV.5) :</b> : variation de la masse dans la eau	58

## Introduction générale

Le ciment est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction, et sa production nécessite une plus grande précision, cela conduit à des pertes matérielles et naturelles, c'est pour ça la recherche d'une matière de liaison moins chère est devenue en utilisant certains déchets et ressources naturelles qui peuvent être obtenus gratuitement, telle que (filler calcaire, pouzzolane..) qui peuvent être exploités comme substitut d'une partie de ciment dans différentes proportions que notre étude, ce qui permet d'améliorer ses propriétés.

L'objectif de notre étude est d'évaluer expérimentalement l'influence de la substitution d'une partie de ciment par des fillers calcaires sur les propriétés physiques, mécaniques et la durabilité des mortiers autoplaçants.

Notre mémoire est organisé sous forme de quatre chapitres,

- **Le premier chapitre** est consacré aux généralités sur les bétons autoplaçants et MAP dans lequel nous présenterons les MAP et ses constitutions, les méthodes de formulation et les caractéristiques à l'état frais et durci.
- **Deuxième chapitre** : Les ajouts cimentaires et son utilisation dans l'Algérie, aussi sur les attaques chimiques sur le béton et le mortier.
- **Le troisième chapitre** mettra l'accent sur les différents matériaux utilisés et les essais réalisés dans notre étude. Dont lequel, nous présenterons les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude.
- **Le quatrième chapitre** sera consacré à l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus sur les mortiers.

En fin nous terminerons notre travail par une conclusion générale, dont laquelle nous synthétiserons les principaux résultats obtenus dans notre étude

# CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE MORTIER AUTOPLACANT

# CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES MORTIERS AUTOPLACANTS

## I.1 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons essayer de faire une des crispations générales issue de notre recherche bibliographique sur toutes les principales notions à traiter dans notre étude. Nous allons donner une présentation générale sur les propriétés mortier auto plaçant, et l'étendue de son utilisation dans divers domaines de la construction, Notamment leurs origines, leurs classifications et leurs granulométries. Nous allons également donner un aperçu sur les mortiers autoplaçant. Nous allons sur tout basé sur leurs applications dans la constriction, et ses différents essais, et les principales caractéristiques.

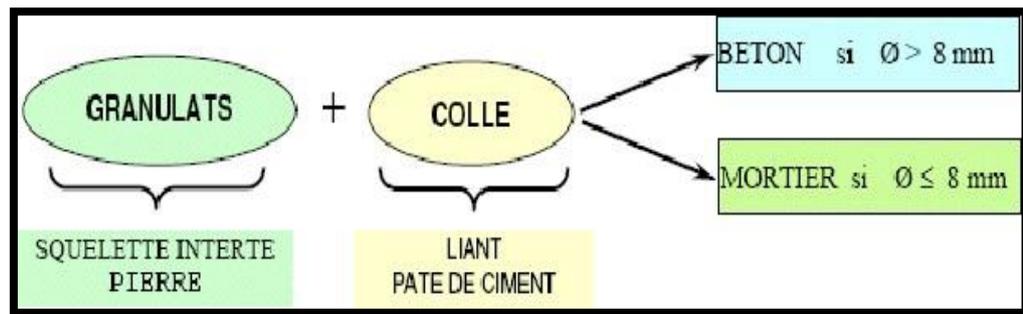
## I.2 mortiers

### I.2.1 Définition de mortier

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, 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, il est fait de matériaux petits et précis, renverse le béton [1].



(Figure I.01) : Mortier en état frais



(Figure I.02) : Constituants des mortiers. [1]

### I.2.2 Structure de MAP

La formulation d'une pâte et mortier cimentaire autoplaçants qui offrira un comportement optimal vis-à-vis de la stabilité et de l'écoulement en utilisant les matériaux de notre région avec les pourcentages adéquats de chaque constituant. Nous mettrons en œuvre un programme expérimental où nous étudierons le rôle de chaque paramètre sur le comportement de la pâte cimentaire et nous délimiterons par la suite un domaine expérimental qui offrira un ensemble de mélanges homogènes et stables, aux propriétés d'écoulement mesurables. Cependant, pour avoir le mélange de constituants possédant les réponses optimales, nous élaborerons un plan de mélanges qui permet d'avoir un nombre important d'informations (rôle des constituants, interactivité) avec un minimum d'essais.

Le rôle de l'expérimentateur ainsi que la démarche expérimentale de l'élaboration de la pâte de ciment sont deux éléments importants, compte tenu de la sensibilité du comportement de cette dernière.

La pâte de ciment est confectionnée à partir des quatre composantes (ciment, filler, plastifiant, eau).[2]

### I.2.3 Un volume de pâte élevé

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres. [3]

### I.2.4 Le rôle d'utilisation de mortier [4]

- La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels :
- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Etre le constituant essentiel du béton
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection.

### I.2.5 Une quantité importante de fines

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire, voire ternaire ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice [5] [6]

### I.2.6 Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plupart du temps un agent colloïdal [7]. Ce produit, comme les fines, a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible qui donne des résistances supérieures à 50 MPa. Pour la gamme des bétons intermédiaire, leur utilité est à étudier au cas par cas. L'agent colloïdal a la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis aux problèmes ségrégation et

ressuage [8] & [9]

## I.3 Méthodes de formulation

### I.3.1 Méthode d'Oka mura

La formulation des MAP par l'approche développée à l'université de Kochi au Japon [10,11,12] se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Cette méthode de formulation est à la fois forfaitaire pour les dosages des granulats et expérimentale pour le dosage en eau et en adjuvant. Pour formuler un BAP par cette méthode baptisée « **méthode japonaise** », on doit passer par les étapes suivantes :

- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...)
- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal
- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.
- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini-cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.
- En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « Rp » (équation.1), on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « βP » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour le ciment et les additions minérales
- Avec « Rp » l'étalement relatif et « d » le diamètre d'étalement moyen de la galette à 2 %.

$$Rp = \frac{d^2 - 100^2}{100^2} = \left(\frac{d}{100}\right)^2 - 1$$

Avec « Rp » l'étalement relatif et « d » le diamètre d'étalement moyen de la galette de pâte.

# Chapitre 1 : généralités sur les mortiers autobloquants

---

## I.3.2 Malaxage des mortiers autoplaçants

Peser le ciment et l'eau au moyen de la balance, lorsque l'eau est mesurée en poids, elle doit être introduite avec une précision de grammes. Malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur.

Le chronométrage des différentes étapes du malaxage s'inscrit entre les moments de la mise en marche et de l'arrêt du malaxeur et il doit être respecté à secondes.

Le mode opératoire de malaxage est le suivant :

- Introduire le ciment puis les poudredans le bol, en prenantsoind'évitertouteperte de cimentou depoudre après 30secondes de malaxage aprè30secondes nous avonsajoute du sable pendant 15 secondes de malaxage.
- Après 45 secondes de malaxage à secintroduire 60% d'eau pendant les 120secondes,
- Arêtes le malaxeur pendant les premières 15 secondesenlevr au moyen d uneraclette en caoutchoucoun en plastique tout le mortier adherent aux parois et au fond bol et le placer au milieu du bol
- Reprendre le malaxage et mettre 40%d'eau + adjuvant à grande vitesse pendant120secondes



Figure (I.03) : malaxeur

# Chapitre 1 : généralités sur les mortiers autobloquants

## I.3.3 Composition des Map

Les mortiers autoplaçants ont été formulés par la méthode japonaise.

Tableau (I.1) : Composition des 4 formulés de Map

Formulation	Ciment(g)	Sable(g)	Eau(g)	Filler calcaire(g)	Adjuvant(g)
Témoin	730.52	1372.4	292.4		5.4
5%	694	1372.4	292.4	36.52	5.8
10%	657.4	1372.4	292.4	73.04	5.4
20%	584.4	1372.4	292.4	146.52	5.8

## I.4 Caractéristique de MAP à l'état frais et l'état durci

### I.4.1 Fluidité et déformabilité de MAP

La déformabilité du mortier est définie comme étant la capacité de mortier de subir un changement de forme sous son propre poids. La déformabilité élevée est exigée de sorte que le mortier. Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement inter sable du mélange. La réduction de la quantité du gros sable et l'augmentation du volume de pâte sont exigées pour obtenir la déformabilité désirée des MAP. Une autre manière de réduire le frottement inter sable est obtenu avec l'incorporation d'additions minérales telles que les fillers [13]

La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte. Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des superplastifiants haut- réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MPA. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau- matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité. Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation [13]. En général, le critère de fluidité- stabilité est assez difficile à résoudre, mais, au moyen d'agents colloïdaux, de teneurs élevées en ajouts minéraux ou de teneurs appropriés en sable, la stabilité et la déformabilité peuvent être assurées.

## Chapitre 1 : généralités sur les mortiers autobloquants

### I.4.2 Etalement au Mini cône de pate :

Dans la méthode japonaise et hollandaise la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur pâte en faisant varier le rapport Eau/poudre (Fig.04.05). La poudre étant le ciment ou l'addition minérale (filler calcaire) mesurer l'étalement relatif « équation Rp » (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenues pour chaque liant (ciment et filler calcaire) [14 ]

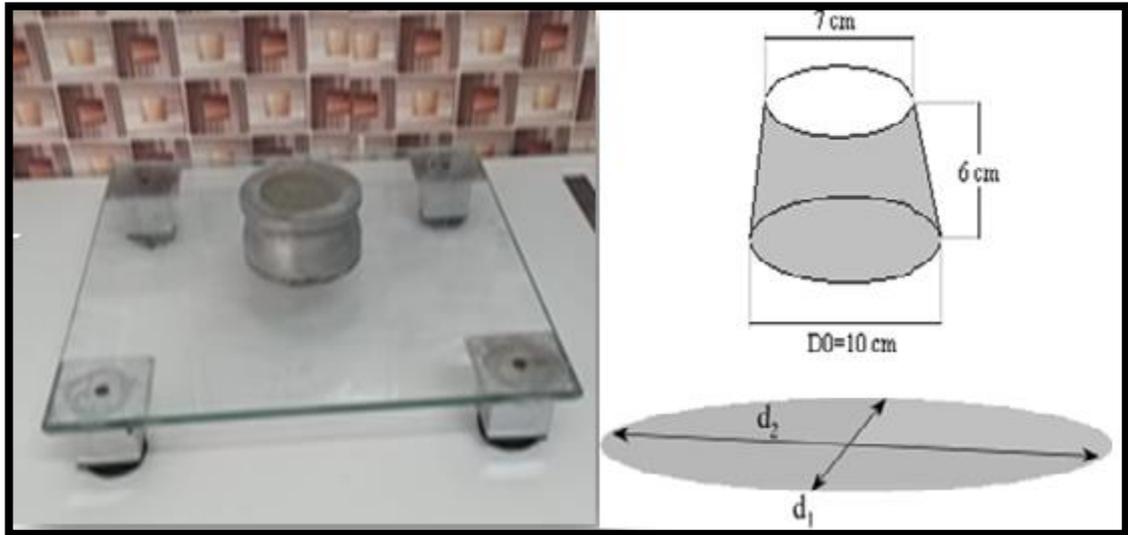


Figure (I.04) : essai Dimensions de Mini cône à mortier



Figure (I.05) : l'essai de Mini cône à mortier

### I.4.3 Essais De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel)

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des MAP.

Un entonnoir de dimensions définies est rempli de mortier jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, on mesure le temps ( $T_v$ ) que met le mortier à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide. Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du mortier. Si le mortier s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible.

De manière général, lorsque nous obtenons le temps de essais, entre 8 et 11 secondes est un bon résultat.[14]

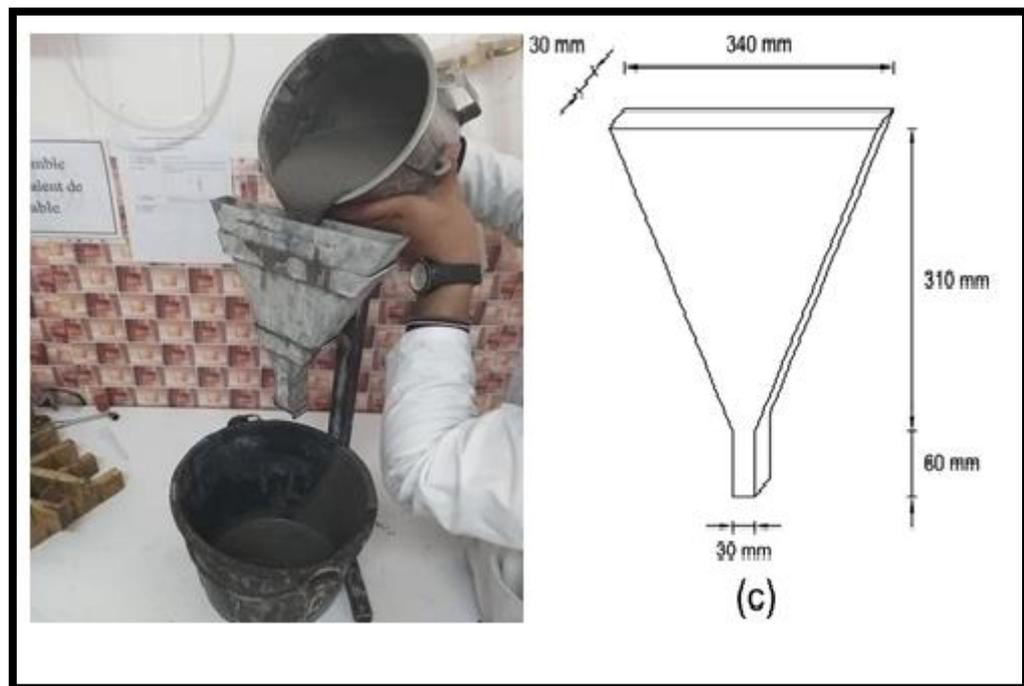


Figure (I.06) : essai V-Funnel

# Chapitre 1 : généralités sur les mortiers autobloquants

## I.4.4 Conservation des éprouvettes

Les éprouvettes doivent rester dans le moule et doivent être protégées contre les vibrations, les chocs, et la dessiccation pendant un minimum de 16h.

Ces éprouvettes sont conservées dans une chambre humide à  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  et d'humidité relative au moins égale à 95 %, pendant 2jour et 7jour et 28jour et 60 jours.



Figure (I.07) : éprouvettes

## I.4.5 essais De La Résistance A La Traction Par Flexion 15]

La résistance à la traction par flexion des mortiers a été évaluée par des essais de flexion trois points effectués sur des éprouvettes prismatique (4x4x16) cm<sup>3</sup>.

La flexion obtenue à 2 et 7 et 28 et 60 jours représentent la moyenne de trois échantillons.

Conserver les demi-prismes humides jusqu'au moment des essais en compression.

La résistance en flexion  $R_f$  (en N/mm<sup>2</sup>) est calculée au moyen de la formule :

$$R_f = \frac{1,5 \cdot p \cdot l}{b^3}$$

## Chapitre 1 : généralités sur les mortiers autobloquants

---

Avec :

$R_f$  : est la résistance à la flexion MPA

$a$  : est le côté de la section carrée de prisme en millimètres (mm) ;

$P$  : est la charge appliquée au milieu du prisme à la rupture en newtons (N) ;

$L$  : est la distance entre les appuis en millimètres (mm).



Figure (I.08) : essai à flexion

### I.4.6 essais De La Résistance A La Compression :[15]

L'essai de la compression s'effectue après avoir l'essai de traction par flexion cette dernière rend l'éprouvette en deux parties.

Pour toutes les caractérisations physico-mécaniques, des spécimens prismatiques de (4x4x16 cm<sup>3</sup>). L'essai de la compression s'effectue après avoir l'essai de traction par flexion cette dernière rend l'éprouvette en deux parties. Les résultats de la résistance à la compression obtenus à 2 et 7 et 28 et 60 jours représentent la moyenne de trois échantillons.

$$F_c = p_c / s$$

La machine utilisée pour l'écrasement uni axial des cylindres est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 200 kN en compression Figure (I.08).



Figure (I.09) : essai compression

## Chapitre 1 : généralités sur les mortiers autobloquants

---

### **I.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons pris une connaissance générale et une distinction de tous les matériaux utilisés dans la formation de mortier autoplaçant, et la formulation du lisier est un auxiliaire des méthodes de détail. Des tests avec des mortier frais et durcis ainsi que des tests de durabilité sont présentés. et de plus, toutes ses propriétés sont à l'état frais et durci. Les MAP est une nouvelle génération venant du Japon est apparue ces dernières années.

# CHAPITRE II

LES AJOUTS MINERAUX ET LES ATAQUES  
CHIMIQUES

# CHAPITRE II : LES AJOUTS MINÉRAUX ET LES ATTAQUES CHIMIQUES

### II.1 Introduction

Les ajouts minéraux sont largement utilisés au remplacement du ciment portland à travers le monde. Le laitier du haut fourneau, les cendres volantes, la fumée de silice ...etc, sont les matériaux les plus fiables pour leur qualité ou la réaction pouzzolanique améliore la résistance des bétons aussi que leurs durabilités. [16,17]

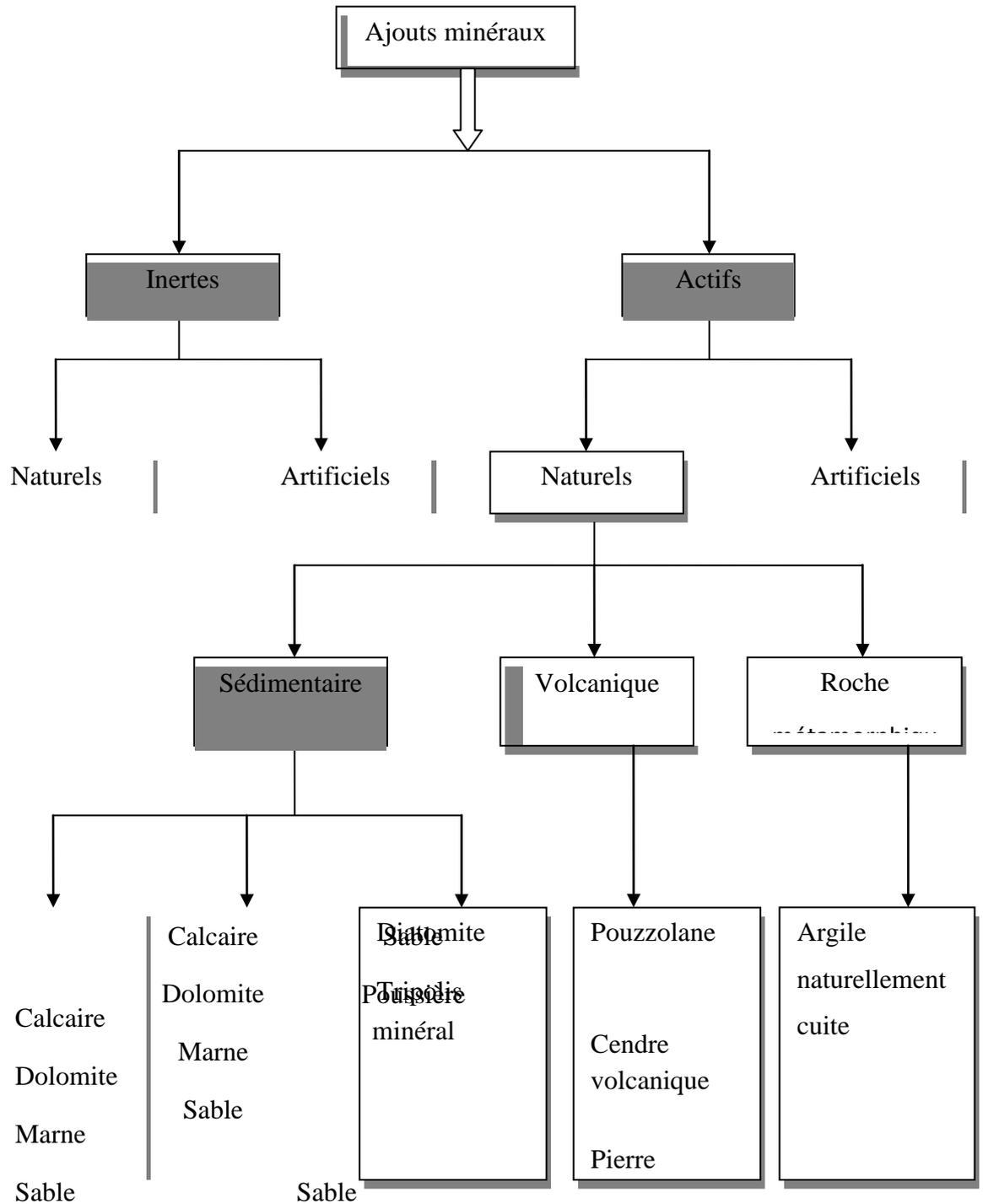
De nos jours, l'utilisation des sous-produits minéraux est en train de devenir un devoir national et un impératif économique dans certains pays.

### II.2 Définition des ajouts cimentaires

les ajouts minéraux sont, par définition, « des matériaux autres que l'eau, agrégats, ciment et acier de renfort, utilisés comme ingrédient de béton ou de mortier, et ajoutés, immédiatement avant ou pendant le malaxage ».

En outre, ce terme inclue des matériaux qui sont additionnés au ciment Portland, en quantités limitées et excédant 5 % de son poids, au cours de son fabrication ou de son utilisation pour modifier les propriétés d'usage du produit fini (mortier ou béton), telles que la maniabilité à l'état frais ou la résistance mécanique et la durabilité, à l'état durci. [18]

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques



(Figure II.1) : Différents types d'ajouts cimentaires [1]

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

### II.3 Rôle de l'ajout cimentaire

#### II.3.1 Rôle de la granulométrie de l'ajout

Les ajouts cimentaires finement broyés comblent les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide ce qui permet de diminuer la quantité d'eau. Le rôle propre du super plastifiant est essentiellement la défloculation (grâce à sa propriété dispersante), ce qui engendre des grappes d'ultrafines qui se forment lors du gâchage et leur permet ainsi de jouer leur rôle granulaire. [19]

#### II.4 Classification des ajouts minéraux

les ajouts minéraux sont classés en actifs et inertes. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau (II.1) ci-dessous.

(Tableau II.1) : Classification des ajouts selon leur réactivité [20]

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granulé-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (Verre volcanique, tufs volcanique, terres à diatomées)
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

### II.4.1 Principaux ajouts minéraux inertes

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à 60 $\mu$ m ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes.

En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégats.

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau). Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière. [21]

#### II.4.1.1. Fillers calcaires

##### II.4.1.1.1 Propriétés Requises Du Filler Calcaire

filler calcaire est une fine minérale obtenue par broyage d'une roche calcaire de manière à répondre aux critères de conformité de la norme sur les additions minérales calcaires. L'appellation de filler calcaire vient du fait que cette addition, si elle est broyée assez finement, s'insère dans le squelette granulaire du ciment (Figure II-2) et permet donc de combler les vides entre les autres particules de dimensions plus importantes du béton (ciment, granulats). L'effet, appelé effet filler, se traduit par une compacité plus importante du squelette granulaire et va donc avoir des effets sur les propriétés aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

##### II.1.1.2 L'utilisation Des Fillers Calcaires

L'utilisation des fillers calcaires dans l'industrie du ciment et du béton est assez récente. Ils sont soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et peuvent alors contenir des résidus argileux et des matières organiques, soit obtenus par broyage du matériau cru. Leur composition chimique est celle du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom.

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

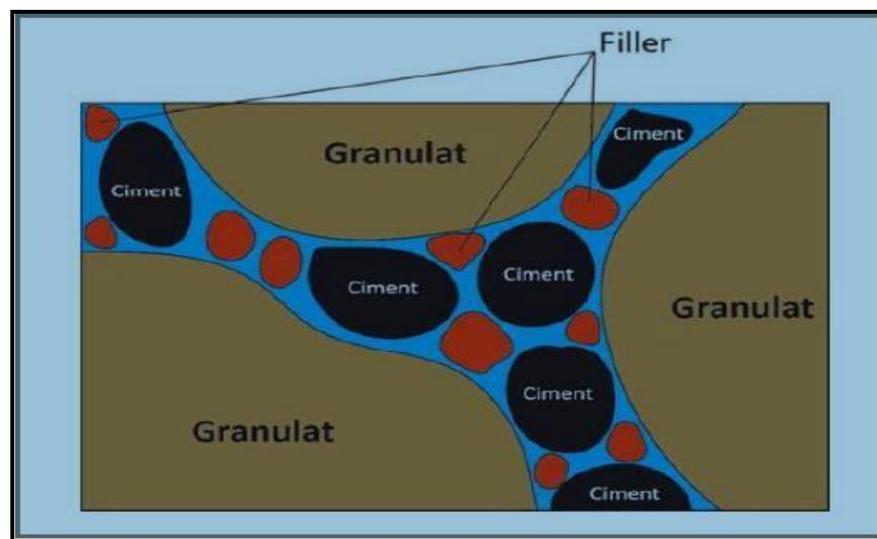
Le filler calcaire utilisé est de ( ), composé essentiellement de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$  avec une teneur de 99 %, produit par l'entreprise nationale des granulats à l'usine de carbonate de calcium Ouargla Hassi Massoud.

### II.1.1.3 Le Rôle Des Fillers Calcaires

Les différents résultats montrent que les fillers calcaires peuvent jouer plusieurs rôles :

- un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).
  - Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.
  - Un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du  $\text{C}_3\text{S}$  et du  $\text{C}_3\text{A}$ .
- Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat.

Plusieurs auteurs ont étudié l'effet de l'ajout des fillers calcaires sur les performances rhéologiques des bétons. [22][23][24]



(Figure II.2) : Illustration de l'effet filler.

Les additions calcaires sont des additions de Type I classées comme quasiment inertes. Les critères qui les définissent dans la norme [NF P18-508] représentent des propriétés physiques et chimiques.

Si l'addition calcaire répond aux critères de conformité de la norme NF P18-508, elle peut

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

alors être prise en compte lors de la formulation du béton pour des dosages prescrits par la norme [NF EN 206-1]. Dans ce contexte une partie du filler calcaire peut être utilisée dans le calcul du liant équivalent en respectant les restrictions.

$$Leq = C + KA$$

Avec :

**Leq**: Liant équivalent

**C** : dosage en ciment en kg/m<sup>3</sup>.

**A** : quantité de l'addition en kg/m<sup>3</sup>.

**K** : coefficient de prise en compte de l'addition à condition que l'indice d'activité de l'addition calcaire soit supérieur à 0,71.

### II.4.1.1.4 Influence Des Fillers Calcaires Sur Les Propriétés Des Bétons

Si un filler calcaire est essentiellement utilisé comme une addition inerte permettant de remplacer une partie du ciment et éventuellement d'augmenter le volume de poudre dans le béton, son influence sur les propriétés du béton depuis l'état frais jusqu'à l'état durci est un aspect important à prendre en compte pour limiter l'apparition de désordres (homogénéité, aspect de surface, baisse des résistances).

### II.4.1.1.5 Fillers Calcaire Et Résistance Mécanique

Selon les études faites par [25], [26], [27] montre que l'utilisation de filler permet l'amélioration des résistances mécaniques des mélanges cimentaires (pâte, mortier, béton). Cet effet positif dépend fortement du dosage en filler et le maximum de résistance est généralement atteint avec un taux de substitution de 10%. Au-delà, l'effet du filler n'entraîne pas de modification des résistances ou alors entraîne une diminution.

D'après Lawrence et dans son étude il a constaté qu'une augmentation de la finesse du filler permet d'améliorer les résistances des mélanges cimentaires sur mortier [28].

Cette influence positive du filler sur les résistances mécaniques des bétons peut être expliquée par deux phénomènes. Tout d'abord, l'ajout de filler fin permet d'améliorer la densité de la matrice générale du béton et plus spécifiquement de la zone de transition pâte-granulats.

D'un autre côté, bien que qualifié d'addition inerte, le filler calcaire influe sur

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

l'hydratation du ciment en servant de site de nucléation.



(Figure II.3) : Filler de calcaire.

### II.4.2 Les ajouts minéraux actifs

#### II.4.2.1 Laitier granulé des hauts fourneaux

C'est un résidu minéral de la préparation de la fonte dans les hauts fourneaux à partir du minerai et du coke métallurgique. C'est un matériau non ferreux, formé en majeure partie par des silicates et aluminosilicates de calcium. Il sort du trou de coulée à une température de l'ordre de 1500°C.

Figé par refroidissement brusque, ce processus de vitrification permet d'obtenir un produit granulé.

Pour acquérir les propriétés d'un ciment hydraulique, le refroidissement doit s'effectuer rapidement afin de réduire la température à 800°C. La première technique était très simple ; la versée du jet de laitier liquide dans un bassin rempli d'eau. La deuxième technique ; consiste au refroidissement du laitier par l'action conjuguée de l'eau et de l'air via un tambour rotatif. Les granulats résultants varient en taille de quelques

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

millimètres à environ 15 mm. Les avantages de cette méthode pour le fabricant sont divers : limiter les émissions de gaz sulfureux, la formation d'un produit plus sec, qui peut également être vendu comme un agrégat léger et surtout la réduction du cout de traitement. [29]



(Figure II.4) : Laitier de haut fourneau

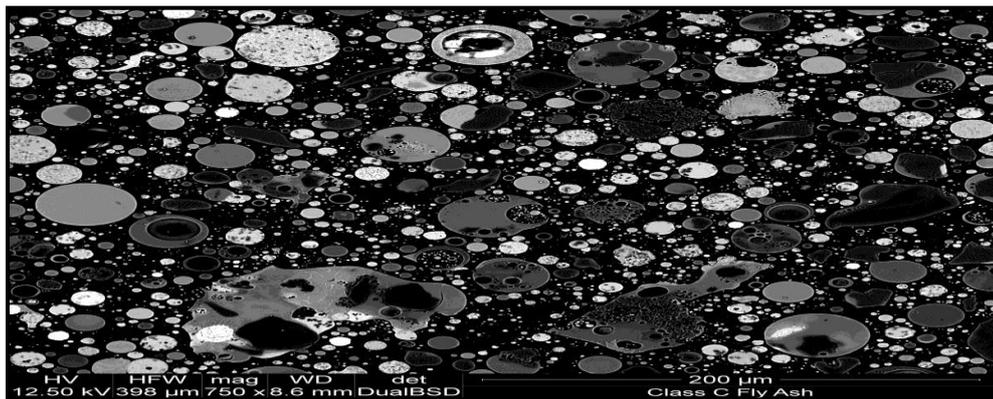
### II.4.2.2 Cendres volantes

Ce sont des particules très fines récupérées par le système de dépoussiérage des centrales thermiques. Les compositions chimiques et les compositions de phase, sont reliées aux matières contenues dans le charbon brûler à la centrale thermique, Par exemple, dans son travail P. Adamiec et al. Ont enregistréés que la cendre volante contenait : du quartz hérité du charbon d'origine et le mellite issue de la transformation de la kaolinite [30]. Les cendres volantes peuvent avoir une forme sphérique avec une distribution granulométrique semblable à celle du ciment Portland, ou contenir des sphères creuses et même dans certains cas des particules angulaires.

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

Le remplacement en masse dans les matériaux cimentaires est souvent de 15-25% pour les cendres volantes de classe F et entre 15 à 40% en masse pour les cendres volantes de classe C. Cette addition a des effets bénéfiques sur les propriétés rhéologiques de la pâte de ciment, car les petites particules sphériques ( $> 45\mu\text{m}$ ) et les particules de carbone poreux peuvent réduire les besoins en eau du matériau cimentaire. [31]



(Figure II.5) : Vue par MEB d'une cendre silico-alumineuse

### II.4.2.3 Fumées de silice

Sous-produit de la fabrication du silicium, du Ferro-silicium ou des silico-alliages. La fumée de silice est généralement grise foncé à noir ou blanc cassé. La fumée de silice est une poudre très fine constituée principalement de particules sphériques ou des microsphères de diamètre moyen d'environ 0.15 microns, avec une surface spécifique très élevée (15000- 25000  $\text{m}^2/\text{kg}$ ). Chaque microsphère est en moyenne 100 fois plus petite qu'un grain de ciment moyen. Par exemple un dosage de 10% en masse de ciment, il y aura 50-100 mille particules de fumée de silice par grain de ciment.

Jusqu'en 1985, cette silice n'était pas valorisée. Ces "poussières" étaient d'abord rejetées dans l'atmosphère puis, pour protéger l'environnement, récupérées par filtration des fumées et placées en décharge.

Dans le béton durci, la fumée de silice améliore la résistance mécanique et la résistance aux cycles gel/dégel, d'un autre côté elle réduit l'action des attaques chimiques, la

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

porosité et la perméabilité. Cette amélioration est due à l'accélération de la réaction d'hydratation et l'effet pouzzolanique. [32]



(Figure II.6) : Poudre de Fumées de silice

### II.4.2.4 Les pouzzolanes naturelles :

Au cours des éruptions volcaniques, une matière minérale fluide ou visqueuse d'une température comprise généralement entre de 700 à 1200 °C, contenant des gaz dissous et provenant de la fusion de roches en profondeur appeler « magma », est projeté en lambeaux de lave fluide et incandescente. Les formes de solidification adoptées par ces lambeaux de lave dépendent essentiellement de leur viscosité, la vitesse de refroidissement et de la teneur en gaz. [33]



(Figure II.7) : pouzzolanes naturelles

### II.4.2.5 Le verre

Du fait de sa nature amorphe et qu'il contient des quantités relativement appréciables de silice, le verre est en général considéré comme étant pouzzolanique s'il est finement broyé.

Ainsi il pourrait être utilisé en remplacement du ciment Portland dans les bétons.

Plusieurs travaux ont été conduits dans les années soixante sur l'utilisation du verre comme granulats dans les bétons. Cependant ces travaux ont montré que tous les bétons se gonflent et se fissurent. [34],[35]

Depuis, l'idée a été en partie abandonnée. Ce n'est que depuis une vingtaine d'année que le sujet est redevenu d'actualité. En effet, pour des raisons économiques et environnementales, l'utilisation du verre recyclé dans les ciments et bétons a suscité l'intérêt d'innombrables municipalités et celles-ci ont encouragé de nouvelles études. [36],[37]



(Figure II.8) : La poudre de verre

### **II.5 L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil**

#### **II.5.1 Intérêt du point de vue technique**

L'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration. [38]

#### **II.5.2 Intérêt du point de vue économique**

Le ciment Portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plupart des ajouts susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits, et à ce titre, nécessite relativement moins d'énergie, si non aucun, et sont moins coûteux que le ciment Portland. [38]

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

### II.5.3 Intérêt du point de vue environnemental

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de  $\text{CO}_2$ . Le taux de substitution de clinker est du même ordre que la diminution de rejet de  $\text{CO}_2$  [38].

### II.6 Effets des ajouts sur les propriétés des bétons

#### II.6.1 Amélioration de l'ouvrabilité

Si nous ajoutons une quantité d'une fine poudre à un béton, nous diminuons le ressuage et la ségrégation dans ce béton, en diminuant le volume des vides. L'utilisation des cendres volantes ou du laitier diminue le besoin en eau d'un béton pour obtenir une certaine consistance.

Pour cette même consistance l'utilisation de poudres ayant une très grande surface spécifique, comme les fumées de silice, tend à augmenter la quantité d'eau nécessaire. La demande en eau et la maniabilité d'un béton contenant des ajouts minéraux dépend de leur forme et de la granulométrie des particules. La norme ASTM C 618 limite la quantité des particules  $> 45 \mu\text{m}$  à un maximum de 34 % [39].

#### II.6.2 Durabilité :

Par rapport au ciment Portland, les ciments aux ajouts pouzzolanique ont une meilleure résistance aux acides et aux sulfates. Cela est dû à l'effet combiné d'une meilleure imperméabilité pour un même rapport E/L, et à une diminution de la quantité de CH.

Les sulfates peuvent détruire le béton en se combinant avec les aluminates du ciment pour former de l'ettringite expansive.

Les conditions pour que cette réaction se passe sont. La perméabilité du béton, la quantité de CH et la quantité d'aluminate dans le mélange à cause de leur bonne imperméabilité et surtout d'une faible quantité de CH, des bétons faits à partir de ciment au laitier résistent très bien à l'attaque des sulfates, malgré une quantité importante de  $\text{C}_3\text{A}$  dans le ciment.

Les ajouts pouzzolanique tels que le laitier, diminuent l'expansion des bétons qui se produit par réactions entre les alcalis du ciment et les granulats réactifs. Les alcalis

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

sont piégés dans le C-S-H formé par l'ajout.

### II .6.3 Développement des résistances

Bien que le développement des résistances soit lent, les résistances à long terme dépassent quelques fois celles du ciment Portland sans ajouts, à condition d'optimiser la quantité d'ajout. Cette Augmentation des résistances est due à l'affinage des pores et des grains ainsi qu'à l'augmentation de la quantité de C-S-H.

### II.6.4 Développement des bétons à haute résistance

L'utilisation des ajouts, pour des raisons d'ordre économique ainsi que pour améliorer

La durabilité des bétons, en remplacement d'une partie du ciment, tend à diminuer les résistances initiales et à augmenter les résistances finales. Les pouzzolanes très réactives, comme les fumées de silice, sont capables de donner des bétons à haute résistance, tant à jeune âge d'eau. Tous les ajouts utilisés qu'à long terme, surtout si la quantité d'eau est diminuée par l'addition d'un agent réducteur en remplacement partiel des granulats fins augmentent les résistances à tous les âges. Les résistances à jeune âge se développent à cause de l'accélération de l'hydratation du ciment, tandis que celles à long terme se développent grâce à la réaction pouzzolanique qui cause l'affinage des pores et le remplacement du CH par du C-S-H. [40]

### II.7 L'utilisation des ajouts en Algérie

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Béni – Saf. [41].

### III.8 Durabilité des bétons et mortiers

#### III.8.1 Définition

L'ouvrage doit conserver les fonctions d'usage, pour lesquelles il a été conçu (Fonctionnement, Sécurité, Confort d'utilisateurs), avec des frais de maintenance et d'entretien réduits que possible. La résistance du béton à se dégrader par les actions

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

physiques et chimiques du milieu, la durabilité est « Le temps pendant lequel le béton est capable d'exécuter ses fonctions ». Le manque de la durabilité en tant que résistance physico- chimique du béton peut dégrader la résistance mécanique à moyen ou à long terme. [12]

La durabilité est définie par la norme NF X 50-501 comme « l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction dans des conditions données d'utilisation et de maintenance, jusqu'à ce qu'un état limite soit atteint ».

### III.8.2 Les attaques chimiques des bétons et mortiers

#### III.8.2.1. Attaques des acides

Les acides peuvent être divisés en acides organiques et acides inorganiques : l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique et l'acide sulfurique par exemple sont des acides inorganiques. L'acide formique, l'acide acétique et l'acide oléique sont des acides organiques. Les acides inorganiques sont plus nuisibles pour le béton que les acides organiques.

- Acides organiques

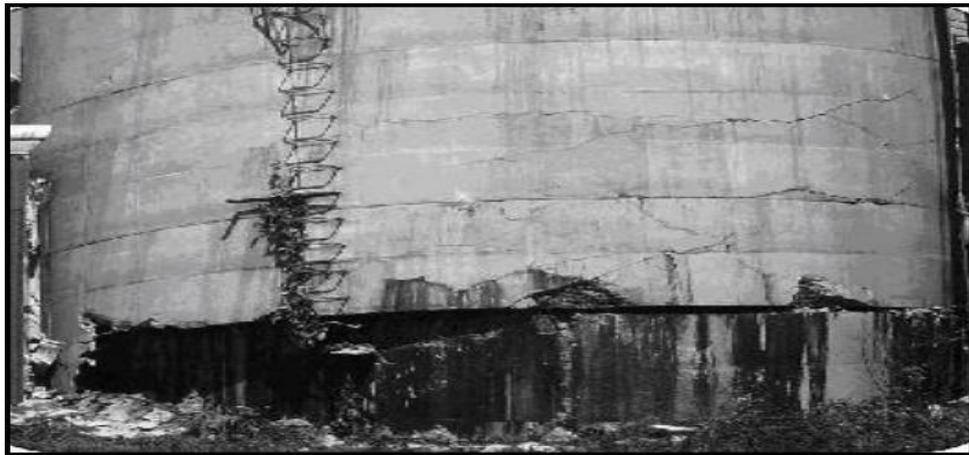
Les acides organiques tels que l'acide acétique, lactique, butyrique, formique, contenus dans certains eaux usées, attaquent les constituants calciques du ciment. Ces acides faibles, peu dissociés, sont généralement modérément agressifs et provoquent des dégradations lentes.

- Acides minéraux

Les acides chlorhydriques et nitriques réagissent avec la chaux de ciment et donnent des sels très solubles, sont très agressifs vis-à-vis des ciments portland.

L'acide sulfurique  $H_2SO_4$  est doublement agressif par son acidité et par l'anion  $SO_4^{2-}$  qui peut conduire à la formation de sels expansifs tel que le gypse et l'ettringite.

L'acide phosphorique  $H_3PO_4$ , qui entraîne la précipitation de phosphates de calcium très peu solubles, est modérément agressif. [42]



(Figure II.9) La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage.



(Figure II.10) : échantillons du MAP après l'immerge dans la solution acide

$H_2SO_4$  (A) et HCL (B)

### III.8.2.2 Sources des acides

Les milieux acides les plus fréquents sont :

- Les eaux naturelles dans les tourbières et les marécages, où le pH peut s'abaisser jusqu'à 4.
- Les réseaux d'égouts : l'activité bactérienne conduit au dégagement d'hydrogène sulfuré par la transformation des produits soufrés qui, combiné à l'humidité atmosphérique se condensent sous forme d'acide sulfurique qui va attaquer le béton.

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

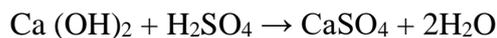
---

- Les pluies acides, qui contiennent principalement de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ayant un pH entre 4.0 et 4.5, peuvent provoquer la dégradation de la surface exposée du béton. [42]

### III.8.1.3.5 Mécanisme d'attaque

En général, on peut établir qu'un acide est d'autant plus nuisible que les sels de calcium formés sont plus facilement solubles.

L'acide sulfurique est relativement inoffensif, car les sulfates de calcium sont difficilement solubles dans l'eau. Mais les ions de sulfate jouent en l'occurrence un rôle nuisible pour le béton (gonflement dû aux sulfates).



Hydroxyde de calcium + acide sulfurique → sulfate de calcium + eau

L'acide sulfurique réagit donc avec la chaux libre dans le béton et forme du gypse. Cette réaction est associée à une augmentation du volume du béton. Une action bien plus destructive est la réaction entre l'aluminate de calcium et les cristaux formés de gypse. Ces deux produits forment l'ettringite ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) moins soluble dans l'eau.

L'acide chlorhydrique fait partie des substances très agressives, car le sel correspondant (chlorure de calcium) est très facilement soluble dans l'eau. La formule ci-dessous décrit la réaction entre l'acide chlorhydrique et le portland.



Hydroxyde de calcium + acide chlorhydrique → chlorure de calcium + eau

Les acides inorganiques forts ne réagissent pas uniquement avec l'hydroxyde de calcium. Ils attaquent également les autres composants de la pâte de ciment durcie, en formant des sels calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice). [42]

## Chapitre II : les ajouts minéraux et les attaques chimiques

---

### **II.9 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a donné la définition des ajouts minéraux et les types d'ajouts et On a parlé de l'utilisation des additions minérales en Algérie, On a parlé aussi sur les attaques chimiques de bétons et mortiers, les sources et les mécanismes de ces attaques.

# Chapitre III

CARACTERISATION DE MATERIAUX ET  
METHODOLOGIE DE TRAVAIL

### **CHAPITRE III : CARACTERISATION DE MATERIAUX ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL**

#### **III.1 Introduction**

Les matériaux utilisés dans cette étude, ont un rôle très important dans la détermination des propriétés des mortiers à l'état frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître les différentes caractéristiques des constituants rentrant dans la formulation des mortiers car chacun pourrait influencer considérablement sur les résultats d'étude.

Dans ce chapitre, nous avons procédé à la caractérisation de chaque constituant du mortier.

La méthodologie suivie pour réaliser ce travail sera aussi présentée dans ce chapitre

#### **III.2 Objectif du travail**

Notre objectif est d'étudier la valorisation, de filler calcaire dans la formulation des mortiers dans des environnements agressifs.

Le ciment est substitué par le filler calcaire (0,08) mm (20% et 10% et 5%) du poids de ciment) à des propositions.

L'objectif de cette technique est d'avoir un MAP de qualité comparable à un mortier témoin

#### **III.3 Caractéristiques des matériaux utilisés**

##### **III.3.1 Le ciment**

###### **III.3.1.1 Définition et généralité sur le ciment [43]**

Le ciment est un liant hydraulique, en d'autres termes est une matière inorganique finement moulue, qui lorsque est gâchée à l'eau forme une pâte permettant de faire prise et qui durcit suite à des réactions et au processus d'hydratation.

Cette matière conserve, après durcissement, sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

Les ciments sont constitués de petits grains individuels de différentes matières, mais ils doivent être statistiquement les moyennes en composition. Un haut degré de régularité dans toutes les propriétés du ciment est obtenu par un procédé continu de production en masse et en particulier, par des procédés convenables de broyage et d'homogénéisation.

Dans le langage courant, le terme de ciment peut être source de confusion lorsqu'il est utilisé pour désigner à la fois:

- La poudre de ciment (par exemple telle qu'elle est commercialisée en sac).
- La pâte de ciment au moment de son gâchage à l'eau.

-Le produit obtenu après durcissement. Dans tout ce qui suit, on distinguera ces différents états en appelant :

- **Ciment anhydre** (sans eau) la poudre de ciment avant son gâchage à l'eau.

-**Ciment hydraté** : les composés, insolubles dans l'eau, obtenus par combinaison chimique de l'eau avec le grain de ciment anhydre.

### III.3.1.2 Classification des ciments courants

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme

(NF EN 197-1). Le tableau (III.1) ci –dessous donne la liste des différents types des ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent.

(Tableau III.1) : Les différents types de ciment courants [44]

désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en% de l'un de constituants suivant : laitier- pouzzolanes- cendres-calcaires- schistes- fumées de silice	Teneur en constituants secondaires (filler)
<b>C P A- CEM I</b>	Ciment portland	95à100%		0 à 5%
<b>C PJ-CEM II/A</b> <b>CPJ-CEMII/B</b>	Ciment portland Composé	80à 94%  65 à79%	- de 6à20% de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas ou les constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10% - de 21à35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5%  0 à 5%
<b>CHF-CEM III/A</b> <b>CHF-CEM III/B</b> <b>CLK-CEMIII/C</b>	Ciment de haut-Fourneau	35 à 64 %  20 à 34 %  5 à 19 %	-35à65% de laitier de haute-fourneau -66à80% de laitier de haut-fourneau -81 à95% de laitier de haut-fourneau	0 à 5%  0 à 5%
<b>CPZ-CEMIV/A</b> <b>CPZ-CEMIV/B</b>	Ciment Pouzzolanique	65 à90%  45à64%	-10à35%de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à10%. -36à55%comme ci-dessus	0 à 5%  0 à 5%
<b>CLC-CEM V/A</b> <b>CLC-CEM V/B</b>	Ciment au laitier et aux cendres	40à64%  20à39%	-18à30% de laitier de haut-fourneau et 18 à30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. -31 à50%de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5%  0 à 5%

### • III.3.1.3 types de Le ciment utilisés

Un seul type de ciment a été utilisé pour des différentes compositions : CEMII/A-L 42,5 N provenant de la cimenterie de Laghouat EL -Beida de nom commercial AWTED dont les compositions chimiques et minéralogiques ainsi les caractéristiques physico-mécaniques sont présentées dans les tableaux suivants



(Figure III.1): Ciment Awtad CEM I 42,5 N-SR3

**III.3.1.4 Caractérisation chimique :** Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont représentées dans les tableaux suivants :

(Tableau III.2) : Caractérisation chimique de ciment

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CAO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	NA <sub>2</sub> O. EQU	Perte au feu	Teneur en MGO	Teneur en SO <sub>3</sub>	Chlorure
21.48%	4.19%	5,18	63,35	0,27	0,06	0,24	2,03	1,29	1,97	0,010

**III.3.1.5 Caractérisations physiques :** Les analyses physique et minéralogiques du ciment sont représentées dans les tableaux suivants :

(Tableau III.3) : caractérisation physique de ciment

SSB	IST	FST	Expansion	C3a
3039cm <sup>2</sup> /g	245min	410min	0.00	2

### III.4 Le sable

Dans tous les mélanges de notre étude, on a utilisé un sable alluvionnaire de classe 3,15 commercialisé au niveau, de la wilaya de Laghouat.



Figure (III.2) : Les sable alluvionnaire

### III.4.1 Analyse granulométrique [45]

#### Mode opératoire

Prélever (1.2kg) de matériau (sable sec).

- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit  $m_i$  la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : **4. 3,15. 2,5. 2. 1,25 .0,63 .0,315. 0,160. 0,080** et éventuellement **0,08** MM. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément à **1** g près. Soit  $M_i$  la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel  $R_1$  du tamis 1.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à  $R_1$ , soit  $R_2$  la masse du refus cumuler du tamis 2 ( $R_2=R_1+\text{Refus partiel sur tamis}$ ).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4,$

Le tamisât cumuler est donné par la relation suivante :  $T= 100 - RC$

Où :

- T : Tamisât en %
- RC : Refus cumulés en %



(FigureIII.3) : Essai d'analyse granulométrique

### III.4.2 Le module de finesse [46]

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion. S'il y a trop de grains fins, il sera nécessaire d'augmenter le dosage en eau du béton tandis que si le sable est trop gros, la plasticité du mélange sera insuffisante et rendra la mise en place difficile. Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF).

Les tamis [0.16,0.315,0.63,1.25,2.5,5]

Lorsque MF est comprise entre :

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100} \quad :MF = 1.867$$

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier, Il donnera des bétons résistants mais moins maniables [47]

Les tableau (III.4) : essai d'Analyse granulométrique

Tamis (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Passant cumulé (%)	Mf
3.15	0	0	100	1.86
2.5	13.45	1.12	98.88	
2	37.45	3.12	96.88	
1.25	86.77	7.23	92.77	
0.63	208.32	17.36	82.64	
0.315	826.32	68.86	31.14	
0.160	1106.72	92.22	7.78	
0.080	1184.22	98.685	1.31	

### III.4.3 Equivalent de sable [48]

#### Mode opératoire

- **Remplissage des cylindres gradués**

Siphonner la solution lavante (5.2) dans chaque cylindre gradué, jusqu'au trait repère inférieur figurant sur le cylindre.

À l'aide de l'entonnoir, verser une éprouvette dans chaque cylindre gradué, en maintenant le cylindre dans une position verticale.

Taper le fond de chaque cylindre à plusieurs reprises sur la paume de la main afin de déloger les bulles d'air et de favoriser le mouillage de l'éprouvette.

Laisser reposer pendant (10 ±1) min pour humidifier l'éprouvette.

- **Agitation des cylindres gradués**

À la fin de cette période de 10 min, boucher un cylindre à l'aide du bouchon en caoutchouc, puis fixer ce cylindre sur la machine d'agitation.

## Chapitre III : caractérisation de matériaux et méthodologie de travail

---

Agiter le cylindre pendant  $(30 \pm 1)$  s puis replacer le cylindre sur la table de travail dans la position verticale.

NOTE Il convient que le temps d'agitation corresponde à  $(90 \pm 3)$  cycles en utilisant l'appareil spécifié en 6.13.

Répéter le processus d'agitation avec le second cylindre.

- **Lavage**

Oter le bouchon en caoutchouc de l'un des cylindres gradués et le rincer au-dessus du cylindre gradué avec la solution lavante, en s'assurant que tout le matériau retombe dans le cylindre.

En descendant le tube laveur dans le cylindre, rincer tout d'abord les parois du cylindre avec la solution lavante, puis enfoncer le tube de façon à ce qu'il traverse le sédiment au fond du cylindre.

Maintenir le cylindre en position verticale tout en laissant la solution lavante agiter le contenu et en favorisant la remontée des fines et des éléments argileux.

Ensuite, tout en faisant subir au cylindre un lent mouvement de rotation, remonter lentement et régulièrement le tube laveur.

Quand le niveau de liquide avoisine le trait repère supérieur gravé sur le cylindre, relever lentement le tube laveur et réguler le flux de façon à maintenir le liquide au niveau du trait repère supérieur jusqu'à ce que le tube soit complètement retiré et le flux interrompu.

Lancer le chronométrage du temps de repos au moment du retrait du tube laveur.

Répéter le mode opératoire de lavage avec le second cylindre.

- **Mesurages**

Laisser reposer chaque cylindre gradué sans dérangement ni vibration, pendant  $(20,00 \pm 0,25)$  min.

## Chapitre III : caractérisation de matériaux et méthodologie de travail

---

À la fin de cette période et à l'aide du régle (6.5), mesurer la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculat par rapport au fond du cylindre gradué

Abaisser soigneusement l'ensemble du piston dans le cylindre, jusqu'à ce que l'embase repose sur le sédiment.

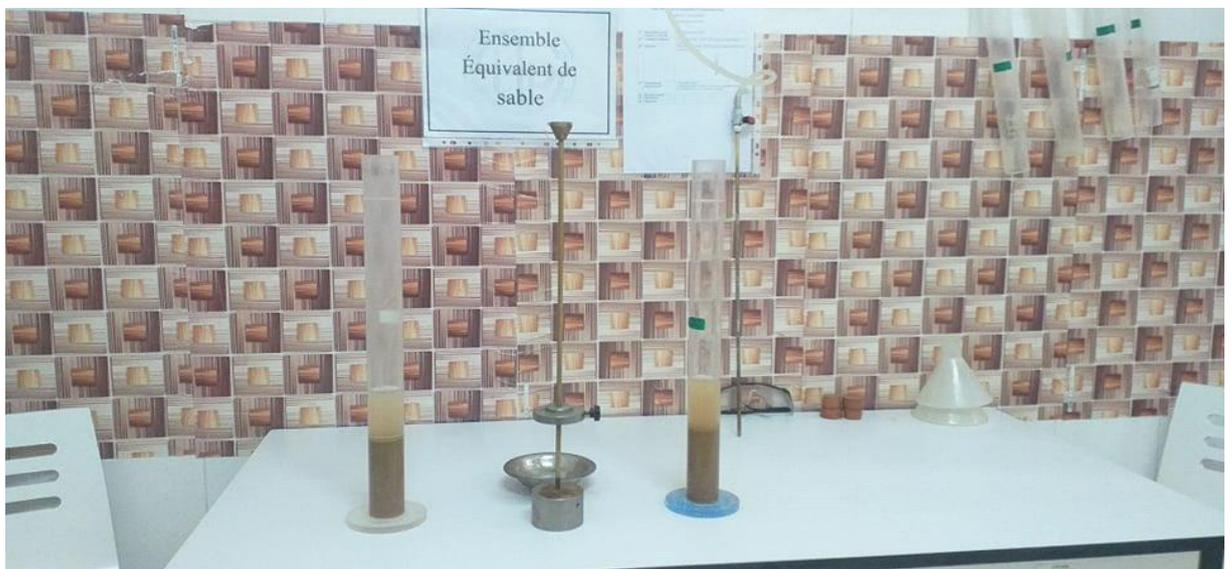
**NOTE :** Pendant cette opération, le manchon coulissant encore non bloqué sur la tige du piston, entre en contact avec le sommet du cylindre gradué.

Placer le manchon sur le cylindre, puis le bloquer sur la tige du piston.

Déterminer la hauteur du sédiment  $h_2$  en mesurant la distance entre la face inférieure de la tête du piston et la face supérieure du manchon, en introduisant le régle dans l'encoche du manchon.

Enregistrer les hauteurs  $h_1$  et  $h_2$  au millimètre près.

De la même manière, mesurer et enregistrer les hauteurs  $h_1$  et  $h_2$  sur le second cylindre.



(Figure III.4) : Essai d'équivalent de sable

## Chapitre III : caractérisation de matériaux et méthodologie de travail

---

- **Calcul et expression des résultats**

Calculer le rapport  $(h_2/h_1) * 100$  pour chaque cylindre avec un chiffre après la virgule.

Si les deux valeurs obtenues diffèrent de plus de 4, le mode opératoire d'essai doit être répété.

Calculer l'équivalent de sable (SE) comme la moyenne des rapports  $(h_2/h_1) * 100$  obtenus sur chaque cylindre et enregistrer au nombre entier le plus proche.

(Tableau III.5) : Résultat de l'essai de l'équivalente de sable

	Hauteur totale H1 cm	Hauteur sable H2 cm	ES = % $(H1/H2) * 100$	ES moyen %	Observation
Essai 1	15.8	8.4	53.16	52.22	52
Essai 2	15.6	8	51.28		

## Chapitre III : caractérisation de matériaux et méthodologie de travail

(Tableau III.6) : les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable.[51]

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
$ES \leq 65\%$	$ES \leq 65\%$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
$65\% \leq ES \leq 75\%$	$60\% \leq ES \leq 70\%$	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
$75\% \leq ES \leq 85\%$	$70\% \leq ES \leq 80\%$	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.

### Pour le sable d Laghouat

C'est un Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.

### III.4.4 Masse volumique (absolue) [50]

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

- **Mode opératoire**

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000** ml.

On prend **01** échantillon de masse 500g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse un volume d'eau pour pleine le récipient préparé préalablement dans **2ème** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe.

Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (P4) ce volume.

Sachant que le volume d'eau versé+ récipient (P3) est connu, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable :  $V = P3 - P4(\text{cm}^3)$

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Avec :  $M = 500\text{g}$ .



(Figure III.5) : récipient rempli par l'agrégat et l'eau

Tableau (III.7) : Masse volumique absolue du sable Laghouat

Poids des agrégats Sec	Poids du récipient plein d'eau	$P3 = P1 + P2$	Poids récipient + agrégats + eau	Volume des agrégats $V=P3-P4$	Masse volumique absolue $\rho =m/v$
P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	P4(g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g / cm <sup>3</sup> )
500	2183.3	2683.3	2491.2	192.1	2.60

### III.4.5 Masse volumique apparente [50]

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existants entre les grains.

#### Mode opératoire :

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide  $M_1$ .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit  $M_2$  ce poids.
- Volume de récipient  $V_r = 2000 \text{ cm}^3$ .

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

$$\rho = \frac{M_2 - M_1}{V_r}$$

$V_r$



(Figure III.6) : récipient rempli par le sable

(Tableau III.8) : Masse volumique apparente du sable d Laghouat

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	M <sub>2</sub> -M <sub>1</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> ) moyen
01	1810	4297.6	2487.6	1,243	1,247
02	1810	4306.6	2496.6	1,248	
03	1810	4315	2505	1,252	

Pour le sable de Laghouat la masse volumique apparent est : 1,247 g / cm<sup>3</sup>

### III.5 Le filler calcaire

Dans tous les mélanges de notre étude, on a utilisé un filler calcaire de la région d'Ouargla

#### III.5.1 Caractérisation de Filler calcaires

Le gravier roulé utilisé est de la région d'Ouargla.

Les fillers calcaires utilisé dans notre étude proviennent de la carrière de BEN BRAHIM (30 Km de Ouargla vers Hassi Messaoud), où sa composition chimique à été déterminée à l'aide des analyses chimique effectués dans laboratoire de chimie du groupe GIKA usine de Sour El-Ghoslane (W. BOUIRA).

L'analyse de fillers calcaires utilisé a révélé l'existence des éléments qui sont présentés dans le tableau (III.9) ci-dessous.

##### III.5.1.1 Caractérisation chimique du filler calcaire de Hassi Messaoud

(Tableau III.9) : Composition chimique de filler calcaire en (%)

Elément	CaO	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PAF	R.I
(%)	1,29	94,12	0,33	2,36	0,62	0,62	0,54	95,16

### III.6 L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage de mortier est une eau potable du réseau publique de la ville de Ghardaïa.

### III.7 L'adjuvant (superplastifiant) [51]

Le superplastifiant utilisé est un adjuvant de SIKA ® de type VISCOCRETE ® TEMPO 12 Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi. Conforme à la norme NF EN 934-2. Cet adjuvant est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalente de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

#### III.7.1 Domaines d'application

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplacants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).

#### III.7.2 Caractères généraux :

SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- Longue rhéologie (>2h),
- Robustesse à la ségrégation,
- Qualité de parement.

##### III.7.2.1 Stockage

Le stockage se fait dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et

30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

### **III.7.2.2 Caractéristiques :**

- Données techniques densité  $1,06 \pm 0,01$
- PH 4,5 à 6,5
- Teneur en  $\text{Na}_2\text{O Eq.} \leq 1 \%$
- Extrait sec 28,0 à 31,0 %
- Teneur en ions Cl -  $\leq 0,1 \%$

### **III.7.2.3 Conditions d'application :**

Dosage Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant.

### **III.7.2.4 Propriétés et effets :**

Grace à ces propriétés le SIKA ® TEMPO 12 permet d'avoir les effets suivants :

#### **A. Sur béton frais**

- Obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- Une très bonne maniabilité
- Un long maintien de l'ouvrabilité
- De faciliter la mise en œuvre du béton

#### **B. Sur béton durci :**

- Bonne résistance initiale et finales
- De diminuer la porosité
- Bel aspect de parement au décoffrage
- De diminuer le retrait
-

### III.8 Essai de perte de masse (durabilité) : [53]

L'essai de la résistance aux attaques des acides consiste à suivre l'évolution de la masse et de d'échantillons immergés dans une solution saturée en acide (5% de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> et HCL et l'eau en volume). La résistance due aux agressions chimiques des bétons et des mortiers est évaluée selon la norme ASTM C 267- 96.

Les échantillons sont disposés et espacés de 2cm et recouverts de 2cm de la solution

Acide. Les éprouvettes sont rincées 3 fois à l'eau de robinet pour éliminer le mortier altéré puis laissées sèche jusqu'à une masse constante M<sub>1</sub>. Cette opération est effectuée dans 4 périodes :

7 jours, 14 jours et 28 jours. et 35 jours.

La variation de la masse est calculée à partir de l'équation :  $VM (\%) = \frac{m_0 - m_i}{m_0} * 100$

VM : variation de la masse en (%).

M<sub>0</sub> : La masse de l'éprouvette avant exposition à l'attaque acide en (g). M<sub>i</sub> (i=7, 14, 28, ...) : la masse 7, 14, 28 jours d'attaque en (g).



(Figure III.7) : Échantillons du mortier l'immerge dans les solutions acides

5%  $H_2SO_4$  et HCL



(Figure III.8) : Échantillons du mortier l'immerge dans les l'eau

### III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons caractérisé tous les matériaux entrant dans la composition des Mortiers, la formulation des mortiers. Ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés.

# CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### CHAPITRE (IV): RESULTATS ET INTERPRETATIONS

#### IV.1 Introduction :

Le présent chapitre est pour étudier les propriétés mécaniques du mortier, à savoir la résistance à la compression et à la flexion, puis, la perte de masse dans une acide Hcl et H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et l'eau ont été étudié.

On a utilisé les abréviations suivantes :

Mortier de référence 100%ciment témoin : combinaison : —**témoin**.

Mortier avec 95% ciment + 5 %fillers ; combinaison : —**95C5F**

Mortier avec 90 % ciment + 10 %fillers ; combinaison : —**90C10F**

Mortier avec 80 % ciment + 20 %fillers ; combinaison : —**80C20F**

#### IV.2 Résultats de l'essai de flexion :

Les résultats de ces essais sont représentés dans le (tableau IV.1)

(Tableau IV.1) : Résultats de flexion

Pourcentage des ajouts	Rf pour 2jours (Mpa)	Rf pour (7jours) (Mpa)	Rf pour 28 jours (Mpa)	RF pour60 jours (Mpa)
5% fillers	4.307	4.80	5.46	7.15
10% fillers	3.93	4.77	5.15	6.90
20% fillers	3.059	4.77	5	5.12
Témoin	3.52	5.96	6.93	7.492

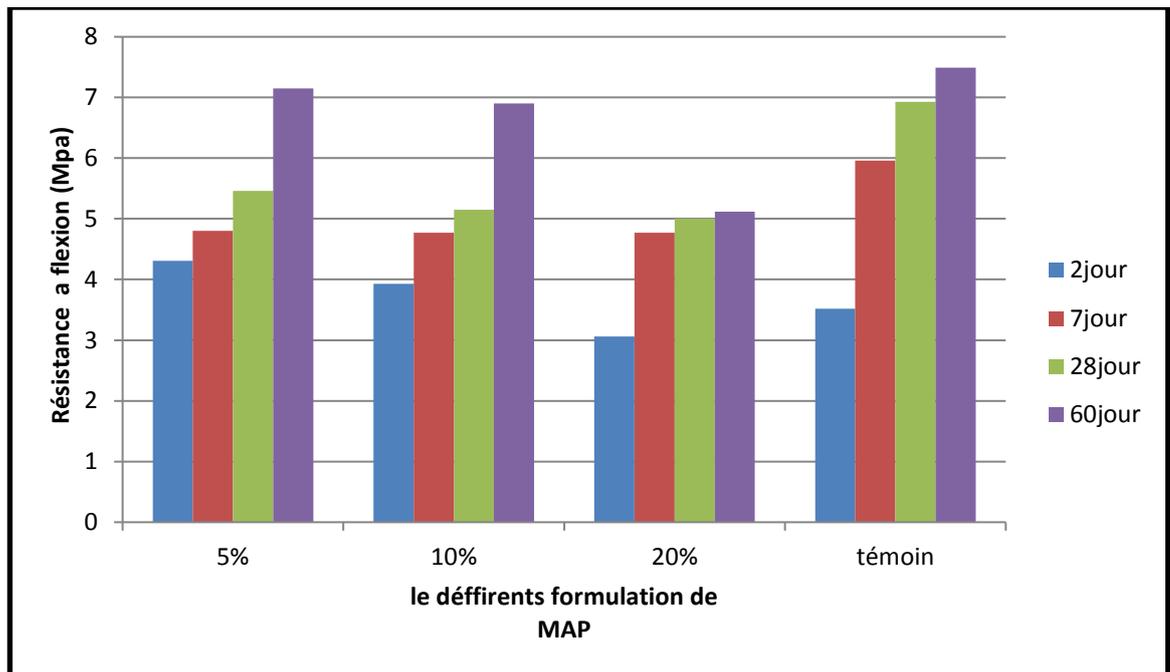


Figure (IV.1) : résistance à la flexion

D'après la figure IV.1, on remarque que :

**Pour 2jour :** pour une durée de 2jour, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de témoin et le mortier avec fillers calcaire est faible par rapport à celle de (5% fillers). Les taux de diminution sont estimés à l'ordre de (29.13%,18.27%,8.75%) pour les compositions 10% fillers et 20% fillers et témoin.

**Pour 7jour :** pour l'effet de fillers calcaire sur la flexion du mortier après 7jour, nous remarquons que la résistance à la flexion pour tous les éprouvettes est faible par rapport à celle de témoin. Les taux de diminution sont estimés à (19.46%,19.96%,19.96%) pour les compositions 5% fillers et 10% fillers 20% fillers.

**Pour 28 jour :** Après 28 jours, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de mortier de fillers calcaire est faible dans les compositions (5%f, 10%f ,20%f) par rapport à celle de témoin ; et les taux de diminution sont respectivement. (21.21%,25.68%,27.84%)

**Pour 60jour :** pour une durée de 60jour, la résistance à la flexion pour les éprouvettes de témoin forte, par rapport le mortier avec fillers calcaire (5% f, 10% f). Et pour moi 20%f qui a

## Chapitre IV : résultats et interprétations

obtenu une valeur très faible, et les taux de diminution sont respectivement (31.64%,7.87%,4.53%).

### IV.3 Résulta de l'essai de compression :

Les résultats de ces essais sont représentés dans le (tableau IV.2)

(TableauIV.2) : Résultats de compression

Pourcentage des ajouts	Rf pour 2jours (Mpa)	Rf pour (7jours) (Mpa)	Rf pour 28 jours (Mpa)	RF pour60 jours (Mpa)
5% fillers	15.965	33.02	51.45	48.54
10% fillers	16.25	31.24	38.54	43.75
20% fillers	11.04	26.45	36.87	38.75
Témoin	15.205	35	69.37	50.93

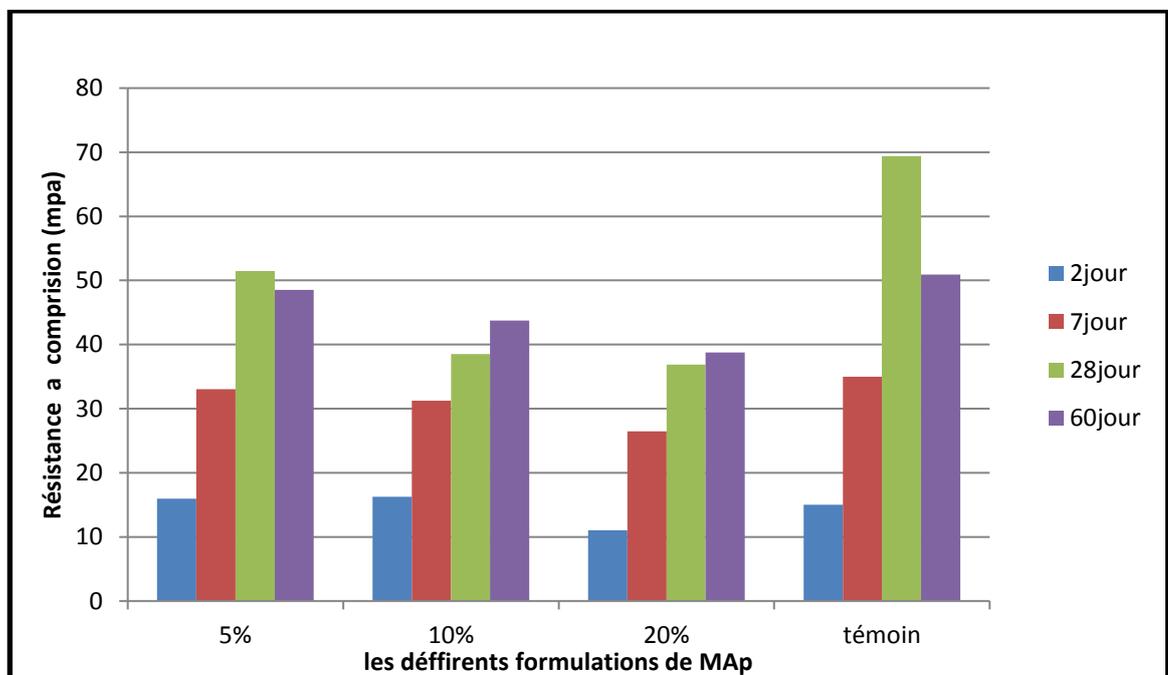


Figure (IV.2) : résistance de compression

Figure.2 montre que la résistance à la compression augmente en fonction de l'âge pour

## Chapitre IV : résultats et interprétations

---

Toutes les éprouvettes, on remarque que :

**Pour 2jour :** Dans le cas de 2 jours, la résistance à la compression du mortier avec fillers calcaire est faible dans les compositions (5%F, 20%F, témoin) par rapport à celle de 10%f avec des taux de (1.75%,32.06%,6.43%). Respectivement

**Pour 7jour :** Après7jours la résistance à la compression du mortier avec fillers calcaire pour différentes proportions diminue pour toutes les compositions 5%f et 10%f et 20%f par rapport au témoin et les taux de diminution sont respectivement (5.65%,10.74%,24.42%).

**Pour 28jour :** Pour l'effet de fillers calcaire sur la compression du mortier après28 jours, nous remarquons que la résistance à la compression pour toutes les éprouvettes est faible par rapport à celle de témoin. Les taux de diminution sont estimés à(25.83% ,44.44%,46.85%) pour les compositions 5%f et 10%f et 20%f.

**Pour 60jour :** : Dans le cas de 60 jours, la résistance à la compression du mortier avec fillers calcaire est faible dans les compositions (5%F, 20%F, 10%f) par rapport à celle de témoin, Les taux de diminution sont estimés à (23.91% ,14.09%,4.69%). Respectivement

### IV.4 Résultats de l'essai de variation de masse (durabilité)

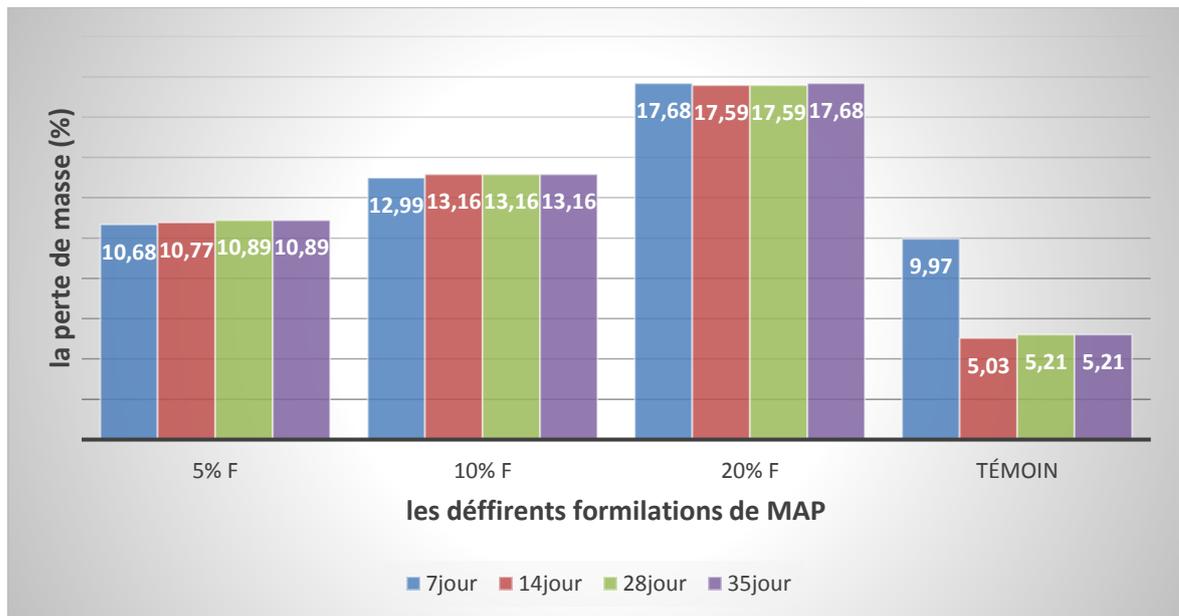
#### Variation de la masse dans la solution 5% d'acide

##### IV.4.1 Pour l'acide de chlorhydrique

(TableauIV.3) : Résultats de perte de masse dans la solution 5% d'acide HCL

Pourcentage des ajouts	Perte de masse pour 7jours (%)	Perte de masse pour 14jours (%)	Perte de masse pour jours 28(%)	Perte de masse pour 35jour (%)
5% F	10.68	10.77	10.89	10.89
10% F	12.99	13.16	13.16	13.16
20% F	17.68	17.59	17.59	17.68
Témoin	9.97	5.03	5.21	5.21

## Chapitre IV : résultats et interprétations



(FigureIV.3) : variation de la masse dans la solution 5% d'acide HCL

La figure (IV.3) montre que toutes les échantillons une perte de masse a 7 jours, et 14jour et 28 jour et 35jour.

En remarque que toutes les formulations de MAP étudié sur une période de 7 jours, 14 jours, 28 jours et 35 jours, montrent une diminution de masse après avoir été immergé dans la solution 5% d'acide sulfurique  $H_2SO_4$ .

En note aussi que les compositions de mortier immergé dans la solution 5% d'acide sulfurique Pour une durée de 7 jours marqués une perte de masse, et le mortier 20% fillers présente une perte de masse maximal de (**17.68%**)de son poids ,au contraire mortier témoin l présente une perte de masse minimale (**9.97%**) de son poids.

Pour 14 jours, en remarque que les échantillons ont continué à perdre du poids pour toutes les Compositions, avec une perte maximale pour le 20%fillers de **17.59%** et une perte minimale pour le mortier témoin (**5.21%**).

On note que la perte de masse augmente avec l'augmentation de quantité de fillers calcaire.

### IV.4.2 Pour l'acide de sulfurique

(Tableau IV.4) : Résultats de perte de masse dans la solution 5% d'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Pourcentage des ajouts	Perte de masse pour 7 jours (%)	Perte de masse pour 14 jours (%)	Perte de masse pour 28 jours (%)	Perte de masse pour 35 jours (%)
5% F	13.82	20.29	22.48	23.44
10% F	11.79	17.16	18.92	19.36
20% F	13.76	17.84	18.35	18.69
Témoin	16.14	22.82	26.99	27.60

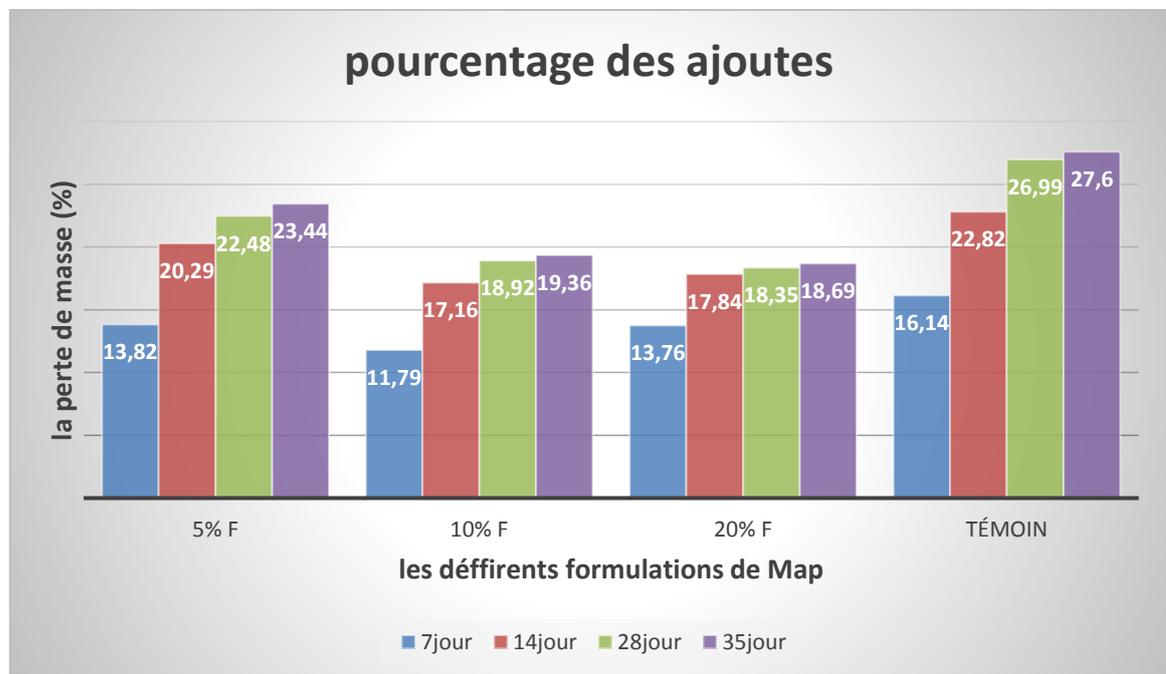


Figure (IV.4) : variation de la masse dans la solution 5% d'acide sulfurique H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

## Chapitre IV : résultats et interprétations

---

La figure (IV.4) montre que tous les échantillons ont une perte de masse à 7 jours, et à 14 jours et 28 jours, immergés dans la solution 5% d'acide sulfurique.

**Pour 7 jours :** En remarque que toutes les formulations de mortier étudié pour 7 jours présentent une perte de masse, et le mortier témoin présente une perte de masse maximale de **(16.14%)** de son poids, au contraire le mortier (10% fillers) présente une perte de masse minimale **(11.79%)** de son poids.

**Pour 14 jours :** Pour une durée de 14 jours marquée une perte de masse, et le mortier témoin présente une perte de masse maximale de **(22.82%)**, de son poids, au contraire le mortier (10% F), présente une perte de masse minimale **(17.16%)** de son poids.

**Pour 28 jours :** en remarque que les échantillons ont continué à perdre du poids pour toutes les compositions, avec une perte maximale pour le mortier témoin de **(27%)** et une perte minimale pour le mortier (20% F) de son poids de **(18.35%)**.

**Pour 35 jours :** Pour une durée de 35 jours marquée une perte de masse, et le mortier témoin présente une perte de masse maximale de **(27.60%)**, de son poids, au contraire le mortier (20% Fillers), présente une perte de masse minimale **(18.69%)** de son poids.

### IV.4.3 Pour l'eau :

Tableau (IV.5) : Variation de la masse dans la solution l'eau

Pourcentage des ajours	Perte de masse pour 7 jours (%)	Perte de masse pour 14 jours (%)	Perte de masse pour 28 jours (%)	Perte de masse pour 35 jours (%)
5% F	0.17	0.25	0.34	0.42
10% F	0	0.17	0.26	0.44
20% F	0.09	0.17	0.26	0.35
Témoin	0.7	0.17	0.17	0.35

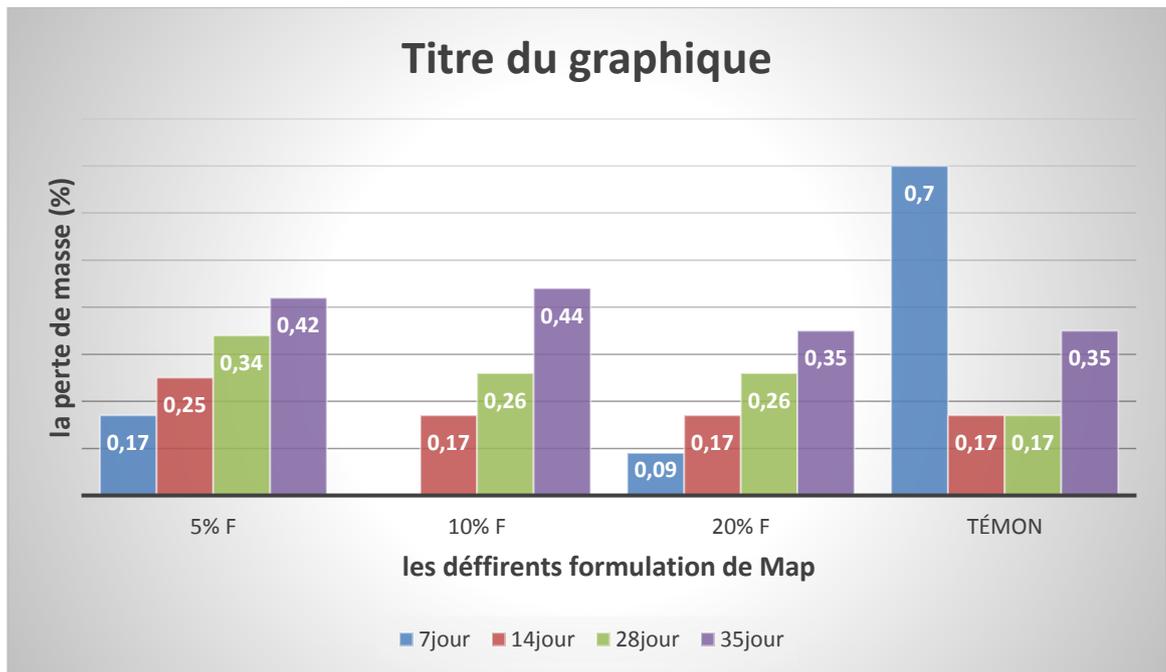


Figure (IV.5) : variation de la masse dans l'eau

En remarque que toutes les formulations de mortier étudié pour 7 jours, et 14jour, 28jour, 35jour présentent un gain de masse, ce gain traduit un début de gonflement des mortiers parce qu'avant d'immersion les mortiers dans l'eau, les mortiers étaient très sec et absorbés une quantité de l'eau.

En note aussi que les compositions de mortier immergé dans l'eau Pour une durée de 7jours marqués une 10%Fellers n'a pas changé son poids, tandis que 5% fillers est celui qui a changé de (**0.17%**), Ce qui considéré la valeur la plus grand, sur 14jours 5% fillers avait la plus forte augmentation avec une pourcentage de (**0.25%**), autant que les trois formulations restantes (10% fillers, 20% fillers et témoin) fillers ont enregistré des augmentations égaux de (**0.17%**), et sur 28jours nous avons enregistré une augmentation en 5% fillers de (**0.34%**), et un pourcentage faible dans le mortier de témoin.

## Chapitre IV : résultats et interprétations

---

### IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'effet du filler sur la résistance à la compression et à la flexion ainsi que sur la perte de masse.

- D'après les essais mécaniques nous avons constaté que la résistance diminue avec l'augmentation du taux du filler calcaire.

# Conclusion générale

### CONCLUSION GENERALE

Dans le présent travail on a fait une étude sur l'influences des caractéristiques mécaniques et physiques du mortier avec une substitution partielle de ciment par les ajouts « fillers calcaire » dans les environnements Natural. Le ciment est substitué avec 20%,10%,5% du poids par les ajouts à des proportions :(20FC80C,10FC90C,5FC95C) et comparé par rapport au mortier témoin, et aussi de durabilité des mortiers autoplaçants dans un environnement agressif en utilisant des solutions d'acide chlorhydrique et d'acide sulfurique.

Les mortiers sont immergés dans trois milieux pour la conservation :

- Dans les conditions normales (l'eau).
- Dans 5% de la solution d'acide sulfurique  $H_2SO_4$ .
- Dans 5% de la solution d'acide chlorhydrique HCL

Remarque : le mortier de témoin donne la meilleure résistance à la traction mais il n'est pas retenu à cause du problème du coût économique du ciment.

La résistance mécanique des mortiers autoplaçants est inversement proportionnelle avec le dosage des fillers calcaires.

- L'utilisation des fillers calcaire rende potentiellement admissibles au rang d'additions minérales pour mortier.
- La durabilité

-La perte de masse des mortiers dans la solution de HCl est due à la forte solubilité de HCl qui réagit avec le portland ite pour donner le  $CaCl_2$  provoquant ainsi la détérioration des éprouvettes. Le gain de masse est dû au gonflement des mortiers à cause des réactions chimiques entre le portland ite et HCl.

Si le milieu est frottement agressif (renouvellement de la solution de l'acide chlorhydrique) l'attaque serait très nuisible.

-La perte de masse des mortiers dans la solution de  $H_2SO_4$  est due aux réactions chimiques entre le portland ite et le  $H_2SO_4$  qui donnent naissance au Gypse et à l'ettringite qui seront lessivés par la sui

# **Annexes**

## Caractérisation de ciment

**AMOUDA  
CIMENT**



# AWTED

CIMENT AUX PERFORMANCES ÉLEVÉES  
(SUPER STRUCTURES)  
NA 442-CEM II/A-L 42.5 N

### CONFORMITÉ PRODUIT

NA442 : 2013 – EN 197-1 : 2012.

#### DESIGNATION NORMALISEE

NA 442-CEM II/A-L 42.5 N.

#### OUVRAGES EN MILIEUX NON AGRESSIFS

Coulage par temps chaud.

#### TRANSPORT DU BÉTON PRÊT À L'EMPLOI

#### FABRICATION

-PRODUIT 100% ALGERIEN

-Fabrication exclusive à l'usine Amouda Ciment sise à El Beida Laghouat.

### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

#### PROPRIETES CHIMIQUES

NA 5042 (EN 196-2) : S03 ≤ 3.5%

NA 5042 (EN 196-2) : chlorure ≤ 0.1%

#### PROPRIETES PHYSICO-MECANIQUES

NA 230 (EN 196-3) : DP > 60 mn

NA 234 (EN 196-1) :

-Résistance à la compression 2 jours > 10 Mpa

-Résistance à la compression 28 jours > 42.5 Mpa

### EMPLOIS ET USAGES CONFORME À VOS PROJETS

- Ouvrages en béton armé.
- Bétons autoplaçants.
- Dallages.
- sols industriels , chapes.
- Fondations.
- Travaux souterrains.
- Voiries et chaussées en béton.



### NOS PRODUITS AUSSI



#### AL ESSES

NA 442-CEM I 42.5 N-LH/SR 5.  
Ciment Résistant aux Sulfates.



#### AL IMRAN

NA 442-CEM II / B-L 32.5 R.  
Ciment pour les professionnels de la construction

POUR PLUS D'INFORMATION VEUILLEZ CONSULTER NOTRE SITE WEB :

[www.amoudaciment.com](http://www.amoudaciment.com)

Email : [service.clients@amoudaciment.com](mailto:service.clients@amoudaciment.com)

Direction commerciale

Lotissement 202, Section 4, Zone d'activité Amara,  
Chéraga, Alger.  
Tél. : 023 305 515    Région Nord : 0655 521 235  
Fax : 023 30 55 14    Région Sud : 0658 363 463



Coordonnées usine

Commune El-Baidha, Guellet Sidi Saad,  
wilaya de LAGHOUAT  
Tél. : 029 173 490    Spécialiste Qualité : 0656 403 772  
Fax : 029 17 34 91



carctérisation de adjevnt

Construction

Notice technique

**SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12**

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

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.



---

**Présentation**      SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

---

**Domaines d'application**      ■ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.  
 ■ Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

---

**Caractères généraux**      SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

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



RHÉOLOGIE	RÉSISTANCES INITIALES	RÉDUCTION D'EAU
5	3	4

---

**Caractéristiques**

**Aspect**      Liquide brun clair

---

**Conditionnement**      ■ Fûts de 230 kg  
 ■ CP de 1000 L  
 ■ Vrac

---

**Stockage**      Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

---

**Conservation**      1 an en emballage intact

---

**Données techniques**

**densité**      1,06 ± 0,01

---

**pH**      6 ± 1

---

**Teneur en Na<sub>2</sub>O Eq.**      ≤ 1 %

---

**Extrait sec**      30,2 ± 1,3 %



Équivalent Oxyde de Sodium  $\leq 1\%$

## RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

**Dosage** Plage de dosage : 0,1 à 5,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

### INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

### VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

### RESTRICTIONS LOCALES

Veillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

### ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité. Nos FDS sont disponibles sur [www.quickfds.com](http://www.quickfds.com) et sur le site [www.sika.fr](http://www.sika.fr)

### INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

**SIKA FRANCE S.A.S.**  
84 Rue Edouard Vaillant  
93350 LE BOURGET  
FRANCE  
Tél.: 01 49 92 80 00  
Fax: 01 49 92 85 88  
[www.sika.fr](http://www.sika.fr)



**Notice Produit**  
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12  
Mar. 2020, Version 01.02  
02130101100000110

2 / 2

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-FR-(03-2020)-1-2.pdf

BUILDING TRUST



# **REFERENCE**

### REFERENCES

- [1] BOUALI Khaled « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires » mémoire de magister Université Du BOUMERDES, 2014
- [2] Mr GUELLIL Mustapha Khadir: FORMULATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS PAR LAMETHODEDE LAPATEEN EXCES et soutenu le2012
- [3] ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL AFGC 2008 : Groupe de Travail -  
Recommandations pour l'emploi es bétons autoplaçants. Documents scientifiques et techniques. 2ème Édition. Janvier 2008.
- [4] Salmi sara, «Etude de l'influence du laitier granulé sur le comportement des mortiers à haute température», mémoire de master en génie civil, université de M'sila, juin 2014, p4-5-6.
- [5] M. YURUGI, N. SAKATA, M. IWAI & G. SAKAI 1993: Mix proportion for highly workableconcrete.Conference Concrete 2000.Dundee.7-9September1993.
- [6] S. TANGTERMSIRIKUL, J. SAKAMOTO, T. SHINDOH & Y.H. MATSUOKA:  
Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent. Taisei Technical Research Report. N° 24, pp 369-376. December 1991.
- [7] Sedran T. (1999), « Rhéologie et rhéométrie des bétons : Application à la formulation des bétons autonivelants », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, Mars.
- [8] S. KUROIWA, Y. MATSUOKA, M. HAYAKAWA & T. SHINDOH 1993:  
Application of super workable concrete to construction of a 20-story building. American Concrete Institute SP140 (High Performance Concrete in Severe Environments). Detroit, Michigan. pp 147-161. 1993.
- [9]-T. SHINDOH, Y. MATSUOKA, S. TANGTERMSIRIKUL & J. SAKAMOTO  
1992: Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete. Transactions of Japan Concrete Institute. V 14, pp 71-78. 1992.

## Références

---

- [10] Okamura H. and Ouchi. M., “Self- compacting concrete, development, present use and future”, In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self- Compacting Concrete; RILEM, 1999.
- [11] Okamura H., Ozawa K., and Ouchi M., “Self- compacting concrete.” Structural Concrete, (1):3\_17, March 2000.
- [12] Okamura H. and Ouchi M., “Self- Compacting Concrete”, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5- 15, April (2003).
- [13] Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J., (2004). “Comparison of Field- oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self- Consolidated Concrete”, ACI Materials Journal, V. 101, No. 2, March –April 2004, pp. 168- 176
- [14] AbdelHamid R’MILI : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010
- [15] Norme française (NF EN 196-1) Méthodes d'essais des ciments — Partie 1 : Détermination des résistances septembre 2016
- [16] L. Zeghichi, B. Mezghiche, A. Merzougui. « L’influence de l’activation du laitier sur le comportement mécanique des bétons », Lebanese science journal, 8, N° 2, (2007).
- [17] R. Khelifa, N. Rahim, A. Muzahim. « L’influence des ciments à base d’ajouts minéraux locaux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons ». XXIIèmes rencontres AU GC – ville et génie civil, 2004.
- [18] Soroka I., « Concrete in hot environment», Edition Taylor & Francis e-Library, 2004.
- [19] A. K. Ramezani pour. « Engineering properties and morphology of pouzzolanic cement concrete », PhD Thesis, University of Leeds, 310 pages - April 1987.
- [20] Djobo Yankwa Jean Noël. « Effets de l’incorporation d’adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments gépolyinères a base scories volcanique ».
- [21] J. Baron, J.P. Olivier et J.C. Weiss. « Les ciments courants, Les bétons, Bases et données pour leur formulation », sous la direction de Jacques Baron, Jean-Pierre Olivier, Ed. Eyrolles, 1996.
- [22] P. Billberg. Fine mortar rheology in mix design of scc. In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete. RILEM, 1999.

## Références

---

[23] Gibbs J.C and ZHU W., « Strength of hardened self-compacting concrete », Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting (PRO 7), Stockholm, Suède, septembre (1999).

[24] Kara-Ali R., «influence des additions minérales sur le besoin en eau et les résistances mécaniques des mélanges cimentaires », Thèse de doctorat de l'université de Cergy-Pontoise, 2002.

[25] Michel, «Influence of physic-chemical characteristics of limestone fillers on fresh and hardened mortar performances», Proceedings of the International RILEM Symposium on SCC, Ghent, Belgium, September 2007.

[26] Topçu, «Effect of the use of mineral filler on the properties of concrete», Cement and Concrete Research , 2003.

[27] Felekoglu B, « utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case) », Resources, conservation and recycling,2007.

[28] Lawrence. P «sur l'activité des cendres volantes et des additions minérales chimiquement inertes dans les matériaux cimentaires», Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier, Toulouse III, 2000.

[29] Taylor HFW. «Cement chemistry. 2ème edition. London»; Edition Thomas Telford 1997.

[30] Adamiec P, Benezet JC, Benhassaine A. «Relation entre une cendre volante silico-alumineuse et son charbon. Poudre et grains»; Vol.15. N°3 2005.

[31] Feng X, Clark B. « Evolution of the physical and chemical properties of fly ash products for use in Portland cement concrete». World of coal ash conference, Denver Colorado USA, 9-11 Mai 2011

[32] : Ollivier JP, Carles-Gibergues A, Hanna B. « Activité pouzzolanique et action de remplissage d'une fumée de silice dans la matrice de béton de haute résistance».

Cem Concr Res 1988.

## Références

---

[33] Geoffray J-M, Valladeau R. « Morphologie et couleur des pouzzolanes. Bulletin de liaison du laboratoire de ponts et chaussées ». 92 nov. -dec. 1977- Ref 2116.

[34] Melle. Kaouane Malika « Analyse des contraintes mécaniques et de la fissuration des éléments en béton armé sous l'effet thermo mécanique» Mémoire de Magister. Université Mouloud Mammeri, tizi ouzou, 2011.

[35] V. K. R. Kodur, M. A. Sultan. « Effect of Temperature on Thermal Properties of High- Strength Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering » ASCE, Vol. 15, No. 2, 2003.

[36] Y. Collet. « Etude des propriétés du béton soumis à des températures levées ». Annales des travaux publics belges, 1977.

[37] R. Felicitti, P.G. Gambarova, M.N. Sora, G.A. Khoury. Mechanical behaviour of HPC and UHPC in direct tension at high temperature and after cooling. Fifth Rilem symposium on fibre-reinforced concretes N° 5 Lyon, France, 2000.

[38] Djobo Yankwa Jean Noël. « Effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments géopolyinères a base scories volcanique ».

[39] Norme français, « Mesure des masses volumique, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables » NF P 18-555 décembre 1990.

[40] Belhocine Aida, Nagoudi Nadjat, « Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux », mémoire master en génie civil, université Kasdi Merbah-Ouargla, 2013/2014.

[41] Kerbouche1 A.Mouli1 M., « Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers ». Mémoire de Magister. ENSET Oran 2009.

[42] AZRAR Taous « Influence du PH sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier autoplaçant » mémoire de master université Akli Mohand Oulhadje-BOUIRA ; 2018.

[43] La norme NF EN 197-1 Avril 2012 Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.

[44] G. Dreux "Nouveau guide du béton " Edition, Eyrolles - Paris- 1998.

[45] Norme française, Analyse granulométrique par tamisage NF P 18-560, Septembre 1990.

[46] (NF P 18-540 Granulats - Définitions, conformité, spécifications).

## Références

---

[47] : Norme française ( XP P 18-545 Granulats Éléments de définition, conformité et codification ).

[48] NF EN 933-8 Août 1999 Partie 8 : Évaluation des fines — Équivalent de sable.

[49] : Jean F a s t a « Georges Dreux. Nouveau Guide Du Béton Et Ses Constructions » 8<sup>ème</sup> Edition, Eyrolles, 2007.

[50] Norme français, « Mesure des masses volumique, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables » NF P 18-555 décembre 1990.

[51] DEHBI Nacera Melissa et CHAIBET Cylia « Comportement rhéologique et physico- mécanique des mortiers autoplaçants avec ajouts minéraux » mémoire de master université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ; 2018/2019

[53] AZRAR Taous « Influence du PH sur les propriétés physico-mécaniques d'un mortier autoplaçant » mémoire de master université Akli Mohand Oulhadje-BOUIRA ; 2018.

[54] NASREDDINE Dalila et AMROUCHE Meriem, « Influence d'attaques par ( $\text{HNO}_3+\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) et ( $\text{MgSO}_4$ ) sur les résistances mécaniques en compression sur les mortiers à base des ciments pouzzolaniques », Mémoire de Master, 2016.