

FACULTE : Sciences Technologique

DEPARTEMENT de Génie CIVILE

N° :



DOMAINE : Sciences et Technologie

FILIERE : Génie Matériaux

OPTION : Génie Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : REZIG Belkacem

ZIANE Amar

Intitulé

**Étude expérimentale de l'influence des
déchets naturelles sur le comportement
des mortiers**

Devant le jury :

NOM et Prénoms	Grade	Qualité
MAZA Mekki	Professeur	Président
AMRIOU Rachid	MCA	Examineur
BELOUADAH Messaouda	MCA	Encadrant
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Co-Encadrant

Année universitaire : 2023/2024

Dédicaces

A la mémoire de mes grand-parent,

A mes parents,

A mes chers amis,

Et mes frères et sœurs.

Remerciement

La louange est à Allah, celui qui glorifie ce qui dans les cieux et dans la terre, c'est Allah, le pur le puissant le sage et qui la prière et le salut de mon seigneur soient sur son prophète.

Au terme de cette étude et Avant tout nous remercions Dieu qui nous avons donné la santé, le courage, la volonté, d'achever notre travail et notre étude.

Nous accordons une place particulière à nos encadrants :

*Professeur **RAHMOUNI Zine EI Abidine**, **Dr BELOUADAH Messaouda** et **Dr. Salhi Sami**, pour avoir accepté de diriger ce travail de recherche, pour leurs conseils et échanges riches et précieux et ainsi pour leurs rigueur scientifique.*

Notre gratitude va également à nos parents qui m'ont orienté et inspiré toute ma vie. MERCI pour vos conseils, rigueur et soutien inconditionnel tout au long de mon parcours. J'espère être à la hauteur de leur fierté.

Sont joints à mes remerciements mes frères, mes sponsors durant cette longue route, qui m'ont toujours aidé, encouragé et surtout cru en moi.

Résumé

Une étude expérimentale de l'effet des plumes de poulet (largement disponibles en Algérie) sur le comportement du mortier. Cette recherche fait partie des efforts visant à améliorer la durabilité de l'industrie de la construction en réduisant la dépendance aux matériaux traditionnels, en réduisant les coûts grâce à l'utilisation de matériaux alternatifs peu coûteux tels que la poudre de plumes de poulet et en améliorant les performances environnementales en réduisant les émissions de dioxyde de carbone associées au clinker. Production et réduire la consommation des ressources naturelles.

Les mélanges ont été fabriqués avec de la poudre de plumes de poulet dans un rapport de 5 %, 10 % et 15 % pour évaluer les propriétés du mortier avec de la poudre de plumes par rapport au mortier traditionnel. Une série d'expériences en laboratoire a été réalisée et comprenait des expériences :

- La préparation des échantillons et la réalisation de tests de consistance.
- La mesure des propriétés physiques et mécaniques du mortier.

L'analyse des résultats des expériences pour déterminer l'effet du pourcentage d'ajout de la poudre de plumes. Les résultats ont démontré que l'introduction de poudre de plumes de poulet dans les mélanges confère au mortier une faible densité et une porosité élevée, et que l'inclusion d'un dosage de poudre de plumes de poulet (5 %) augmente la résistance à la flexion et à la compression.

Mots clés : mortier ; poudre de plumes de poulet ; consistance ; propriétés physiques et mécaniques

ملخص

دراسة تجريبية لتأثير ريش الدجاج (المتوافر بكثرة في الجزائر) على سلوك الملاط. ويأتي هذا البحث في إطار الجهود المبذولة لتحسين استدامة صناعة البناء والتشييد من خلال تقليل الاعتماد على المواد التقليدية وخفض التكاليف من خلال استخدام مواد بديلة غير مكلفة مثل مسحوق ريش الدجاج وتحسين الأداء البيئي من خلال تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالكلنكر. الإنتاج وتقليل استهلاك الموارد الطبيعية.

تم عمل الخلطات بمسحوق ريش الدجاج بنسب 5%، 10%، 15% لتقييم خواص الملاط مع مسحوق الريش مقارنة بالمونة التقليدية. تم إجراء سلسلة من التجارب المعملية وشملت:

- تحضير العينات وإجراء اختبارات الاتساق.

- قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للملاط.

تحليل نتائج التجارب لتحديد تأثير نسبة إضافة مسحوق الريش أظهرت النتائج أن إدخال مسحوق ريش الدجاج إلى الخلطات يعطي الملاط كثافة منخفضة ومسامية عالية، وأن إدراجه بجرعة. من مسحوق الريش الدجاج (5%) يزيد من مقاومة الانثناء والضغط

الكلمات المفتاحية: الملاط – مسحوق ريش الدجاج – الاتساق – الخواص الفيزيائية والميكانيكية

Abstract

An experimental study of the effect of chicken feathers (widely available in Algeria) on the behavior of mortar. This research is part of the efforts to improve the sustainability of the construction industry by reducing dependence on traditional materials, reducing costs through the use of inexpensive alternative materials such as chicken feather powder, and improving environmental performance by reducing carbon dioxide emissions associated with clinker. Production and reducing the consumption of natural resources.

The mixtures were made with chicken feather powder in a ratio of 5%, 10% and 15% to evaluate the properties of the mortar with feather powder compared to the traditional mortar. A series of laboratory experiments were carried out and included experiments:

- Sample preparation and consistency tests.
- Measurement of the physical and mechanical properties of the mortar.

Analysis of the results of the experiments to determine the effect of the percentage of addition of feather powder. The results demonstrated that the introduction of chicken feather powder into the mixtures gives the mortar a low density and high porosity, and that the inclusion of a dosage of chicken feather powder (5%) increases the resistance to bending and compression.

Keywords: mortar-chicken feather powder-consistency-physical and mechanical properties

Sommaire

ÉTUDE EXPERIMENTALE DE L'INFLUENCE DES DECHETS NATURELLES SUR LE COMPORTEMENT DES MORTIERS

INTRODUCTION	10
Introduction Générale.....	11
CHAPITRE I	13
GENERALITES SUR LESMORTIERS	13
I. Chapitre 1 généralité sur les mortiers.....	1
I.1. Introduction.....	1
I.2. Les constituants des mortiers	1
I.2.1. Le Liant.....	1
I.2.2. Le ciment	1
I.2.2.1. Définition du ciment portland	2
I.2.2.2. Etapes de fabrication du ciment portland	2
I.2.2.3. Constituants du ciment	4
a. Le clinker.....	4
a.1. Composition chimique et minéralogique du clinker	5
a.1.2. Composition minéralogique	5
b. Le gypse	6
c. Les ajouts.....	6
I.2.2.4. Classification de ciment	7
I.2.2.5. Caractéristique du ciment.....	7
a. Caractéristiques physico-chimiques	7
b. Caractéristiques chimiques.....	12
c. La chaux.....	13
c.1. Définition de la chaux	13
d. L'eau	14
d.1.1. L'eau de gâchage	14
d.1.2. Les types des eaux	14
a. Les Granulats	14
b. Sable.....	15
b.1. Classification des sables selon leurs provenances	15
b.2. Les caractéristiques des sables	15
b.2.1. Les caractéristiques géométriques -Analyse granulométrique	15
b.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques.....	16
• Teneur en eau (W %) :P18-555	17
b.2.3. Caractéristiques physiques et mécaniques.....	17
a) Masse volumique apparente ou en vrac (NF P 18-554)	17
c. Les adjuvants	17
I.2. Les différents types de mortier	19
I.2.1. Mortier de chaux grasse	19
I.2.2. Mortier de chaux hydraulique	19
I.2.3. Mortier bâtard	19
I.2.4. Mortier de terre.....	19
I.2.5. Mortiers de fibres	19
I.2.6. Mortiers industriels secs pré mélangés	19
I.2.7. Mortier de ciment.....	20
I.3. Les propriétés des mortiers	20
I.3.1. Maniabilité.....	20
a) La table de secousses	20
b) Le maniabilémetre du LCPC.....	20
I.3.2. La prise.....	20
I.3.3. Résistance mécaniques.....	21
I.3.4. Retrais et gonflement	21
I.3.4.1. Limitation du phénomène de retrait.....	21
I.3.5. Durabilité	22
I.3.6. Porosité.....	22
I.3.7. Influence de sable de carrière sur le mortier	22
CHAPITRE II	23
GENERALITE SUR LES PLUMES DE POULET	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
II. Chapitre II : Généralité sur les plumes de poulet.....	24

Sommaire

II.1.	Déchets d'abattoirs.....	24
II.2.	Contexte législatif.....	26
II.3.	Déchets générés par les abattoirs de volailles.....	26
II.4.	Quantités de déchets solides générés par les abattoirs de volailles.....	26
II.5.	Modes de gestion actuels des déchets d'abattoirs avicoles.....	27
II.5.1.	Quelle gestion durable des déchets d'abattoirs avicoles ?.....	27
II.5.1.1.	Le tri à la source.....	28
II.5.1.2.	La collecte.....	28
II.5.1.3.	Le traitement.....	28
II.5.2.	Traitement des déchets d'abattoirs avicoles.....	28
II.5.2.1.	Valorisation.....	28
II.5.2.2.	Procédés de valorisation des déchets d'abattoirs avicoles.....	29
II.6.	Déchets de volailles.....	29
CHAPITRE III	.....	36
PROGRAMME EXPERIMENTAL	.....	36
III.1.	Introduction.....	38
III.1.1.	Ciment : CEM I42.5R (Ciment Portland NA 442/2013).....	38
III.1.2.	Sable.....	40
III.1.2.1.	Caractéristiques physiques des sables utilisés.....	40
a)	Masse spécifique (absolue) : NFP18-555.....	40
b)	Masse volumique apparent (NF P 18-554).....	40
c)	Porosité : NFP18-554.....	41
d)	Compacité.....	41
e)	L'indice des vides.....	41
f)	Equivalent de sable [NF EN 933-8].....	42
i.	Equivalent de sable visuel (ESV).....	43
ii.	Equivalent de sable au piston (ESP).....	43
g)	Analyse granulométrique : NFP18-304.NFP18-560.....	44
III.1.3.	Adjuvant.....	47
III.1.3.1.	Propriétés.....	48
III.1.3.2.	Domaine d'application.....	49
III.1.4.	Poudre de plumes poulet.....	49
III.1.5.	Eau de gâchage.....	54
III.2.	Fabrication et conditionnement des éprouvettes.....	54
III.3.	Composition de mortier.....	55
III.4.	Formulation d'un mortier témoin.....	55
III.5.	Malaxage du mortier.....	55
III.6.	Essais de maniabilité (consistance de mortier).....	56
III.7.	Préparation des éprouvettes.....	56
III.8.	Conservation des éprouvettes.....	57
III.9.	Les compositions utilisées.....	57
III.10.	Séquence de malaxage du mortier.....	59
III.11.	Démoulage et conservation des éprouvettes.....	59
III.12.	Essais Sur Mortier.....	60
III.12.1.	Des essais à l'état frais.....	60
III.12.2.	des essais à l'état durci.....	61
III.12.2.1.	Cure appliquée [NF P 18-404].....	61
III.13.	Conclusion.....	64
CHAPITRE IV	.....	65
RESULTATS	.....	65
ET	.....	65
DISCUSSION	.....	65
II.1.	Introduction.....	66
II.2.	Les résultats des essais à l'état frais.....	66
II.2.1.	L'affaissement.....	66
II.2.2.	La masse volumique.....	67
II.3.	Les résultats des essais à l'état durci.....	68
II.3.1.	La masse volumique à l'état durci.....	68
II.3.2.	Résistance à la traction par flexion.....	69

Sommaire

II.3.3. Résistance à la compression	72
II.3.4. Porosité.....	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	77
<i>Références bibliographiques</i>	78
ANNEXES	82

Liste des Figures

Chapiter I : Généralités sur les mortiers

Figure I.1:Schéma de fabrication du ciment portland selon les différentes voies.(5).....	4
Figure I.2: Microphotographie d'un clinker.(8).....	4
Figure I.3: Différents types d'ajouts cimentaires(5).....	7
Figure I.4: le développement de la pâte de ciment avec les temps (10)	8
Figure I.5: Principe de la méthode Blaine(13)	9
Figure I.6: influence d'E/C sur le retrait des mortiers[13]	10
Figure I.7: Représentation bidimensionnelle de l'empilement de grains de ciment dans la pâte. [16].....	11
Figure I.8: Morphologie du C-S-H et Cristaux de Portlandite[16]	11
Figure I.9: Cycle de la chaux (17)	13

Chapiter II : Généralité sur les plumes de poulet

Figure II.1: Répartition (en %) des différents déchets issus de l'abattage des volailles.....	25
Figure II.2: Processus de valorisation des déchets [38].....	28
Figure II.3: Images d'analyse par le Microscopie électronique à balayage (MEB) de la plume de poulet [45]	31
Figure II.4: Les sept types de plumes rencontrées chez les oiseaux [47].....	32
Figure II.5: Quantités moyennes des différents déchets d'un poulet	35

Chapiter III : Programme expérimental

Figure III.1: ciment utilisé	38
Figure III.2: Mesure de l'équivalent de sable.....	42
Figure III.3: Mesure de l'équivalent de sable	43
Figure III.4: Une machine à tamiser	44
Figure III.5: Colonne de tamis	45
Figure III.6: La courbe granulométrique du sable.....	46
Figure III.7: Evolution du temps d'écoulement en fonction du volume du MEDAFLOW	48
Figure III.8: Super plastifiant utilisé dans notre étude.....	49
Figure III.9: Les plumes collectées	50
Figure III.10: Lavage	50
Figure III.11: Séchage	51
Figure III.12: Sécher les plumes	51
Figure III.13: Principe du broyeur à billes MM 400.....	52
Figure III.14: Farine des plumes	52
Figure III.15: Des éprouvettes	54
Figure III.16: Malaxeur.....	55
Figure III.17: Lubrification.....	56
Figure III.18: Rasage	56
Figure III.19: serrée mortier(Table de choc et des moules).....	57
Figure III.20: étiqueter les moules	57
Figure III.21: Marquer les éprouvettes	57
Figure III.22: séquence de malaxage du mortier.....	59
Figure III.23: Eprouvettes conservées dans le bac	60
Figure III.24: Cône d'Abrams du mortier	60
Figure III.25: essai de résistance à la flexion	62
Figure III.26: essai de résistance à la compression	63
Figure III.27: essai de chauffage.....	64
Figure III.28: Essai de mesure dans l'eau	64

Chapiter IV : Résultats et Discussion

Figure IV.1 : Evolution de l'affaissement et rapport E/C des mortiers étudiés.....	67
Figure IV.2 : Histogramme de la masse volumique état frais du mortier étudié.....	68
Figure IV.3 : Histogramme de la masse volumique état Durci du mortier étudié.....	69

Liste des figures

Figure IV. 4 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier Mt.....	69
Figure IV. 5 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier M1	70
Figure IV. 6 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier M2.....	70
Figure IV. 7 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier M3.....	71
Figure IV. 8 : Histogramme de la résistance à la compression.....	72
Figure IV. 9 : Evolution de la porosité.....	73

Liste des tableaux

Chapiter I : Généralités sur les mortiers

Tableau I.1 : La composition chimique du cru (6)3
Tableau I.2: Teneurs moyennes des oxydes constitutifs du clinker.(5)5
Tableau I.3: Composition minéralogique du clinker(5)6
Tableau I.4: Composition chimique du gypse(5).....6
Tableau I.5: Exigences chimiques définies en termes de valeurs caractéristiques des ciments courants(5) 12
Tableau I.6: classification normalisée des sables. (23)16
Tableau I.7: Les valeurs de module de finesse MF (Norme NFP 18-540)(24)16
Tableau I.8: les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable (ES)(12)17
Tableau I.9: Différentes actions des adjuvants(5)18

Chapiter II : Généralité sur les plumes de poulet

Tableau II.1 : Tableau représentatif des parties comestibles et non comestibles des ovins et des bovins en Algérie.....24
Tableau II.2: Tableau représentatif des parties comestibles et non comestibles des volailles24
Tableau II.3: Proportion moyenne d'une carcasse comparée des différentes viandes27
Tableau II.4: Les différentes parties éliminées du poulet en % [40].....29

Chapiter III : Programme expérimental

Tableau III.1 : Analyse chimique ciment37
Tableau III.2: caractéristiques physico-mécaniques38
Tableau III.3: Les constituants de ciment en %38
Tableau III.4: Résultats de la masse volumique absolue39
Tableau III.5: La masse volumique apparente à l'état l'ache40
Tableau III.6: La masse volumique apparente à l'état compact40
Tableau III.7: Porosité, compacité et l'indice des vides41
Tableau III.8: Les résultats d'équivalent du sable de Djamaa43
Tableau III.9: Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Djamaa46
Tableau III.10: Teneur en eau de sable utilisé47
Tableau III.11: Caractéristiques du MEDAFLOW 3048
Tableau III.12: Masse mole claire du super plastifiant48
Tableau III.13: Gamme typique d'analyses approximatives des caractéristiques de la farine de plume hydrolysée ainsi que la composition en acides aminés et la teneur en minéraux53
Tableau III.14: Caractéristiques chimiques de l'eau54
Tableau III.15: Les compositions utilisé pour le mortier58

Chapiter IV : Résultats et Discussion

Tableau IV.1 : les notations des différentes compositions utilisée66
Tableau IV.2 : Résultats de l'essai l'affaissement pour mortiers étudiés.....66
Tableau IV.3 : Résultats de la masse volumique état frais du mortier étudié67
Tableau IV.4 : Résultats de la masse volumique état durci du mortier étudié68
Tableau IV.5 : Résultat de l'essai de résistance à la compression.....71
Tableau IV.6 : Résultat de l'essai de porosité72

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction Générale

Le béton et le mortier sont les matériaux les plus populaires et les plus chers dans l'industrie de la construction. L'industrie du béton peut contribuer de manière significative à accroître le recyclage des déchets naturels tels que les plumes de volaille usagées. [1,2]. De nombreuses entreprises contemporaines ont du mal à développer une stratégie économique et écologique pour éliminer leurs déchets. Les principales raisons en sont les difficultés croissantes liées à la localisation des sites d'élimination et les exigences strictes de la politique environnementale en matière de gestion des déchets et de réglementation de l'élimination. Chaque année, l'industrie de transformation de la volaille produit une quantité importante de sous-produits, tels que des plumes, qui pèsent au total 40×10^9 kg [3,4]. Les exigences législatives et les meilleures pratiques actuelles, telles que l'Initiative Zéro Déchet en Afrique du Sud, contrôlent la manière dont ces déchets sont gérés, ce qui soulève des préoccupations environnementales et sanitaires [5,6]. Les méthodes courantes d'élimination des déchets, telles que l'incinération, la mise en décharge et le compostage, génèrent toutes des gaz à effet de serre, consomment une grande quantité d'énergie et nécessitent une grande quantité d'espace de décharge [7]. Les plumes de poulet sont constituées de 91 % de kératine, 8 % d'eau et 1 % de lipides [8,9]. Les qualités mécaniques des plumes de poulet sont étroitement liées à leurs fonctions, et les propriétés mécaniques sont liées à la structure kératinique. La structure de la kératine permet le transfert des forces avec une déformation minimale. On a observé que les modules d'élasticité de la kératine des plumes varient entre 0,045 et 10 GPa. Le module d'Young des fibres de plumes de poulet séchées au four s'est avéré compris entre 3 et 50 GPa, tandis que la résistance à la traction a été déterminée entre 41 et 130 MPa [10]. En réponse à la croissance de l'industrie de la construction, diverses études ont été réalisées, en particulier dans les pays en développement, pour améliorer les caractéristiques et les comportements des plumes de poulet [11-13]. Cependant, l'utilisation généralisée du mortier dans un large éventail de constructions et d'applications commence à exercer une pression sur l'environnement. Des tonnes de dioxyde de carbone (CO₂) sont libérées pendant les phases d'excavation, de construction et logistiques du processus de fabrication du ciment [14]. Le dragage du sable et du gravier pollue également l'eau, affectant le gradient du niveau de l'eau et réduisant la biodiversité [15]. Kumar Sharma [16] a démontré que les plumes de poulet peuvent être utilisées comme additif pour le mortier, et il a été affirmé que les plumes de poulet peuvent remplacer une certaine quantité d'agrégats fins tout en conservant les qualités des agrégats fins, réduisant ainsi le poids du mortier. À l'exception de leur lavage et de leur séchage pour éliminer les contaminants biologiques, la plupart des recherches ont utilisé des plumes de poulet sans aucun traitement thermique avant le mélange du mortier [17]. La résistance à la compression du mortier ne peut pas être améliorée en remplaçant jusqu'à 100 % du sable présent dans le mortier comme liant [18]. Étant donné que l'utilisation de fibres de plumes de poulet pourrait être possible dans le cadre du remplacement du sable dans le mortier, cela pourrait agir comme un catalyseur environnemental menant à un mortier respectueux de l'environnement [19-22]. Concernant les effets des acides, les plumes ont une bonne résistance chimique aux acides doux, mais comme elles ont une faible résistance chimique aux acides forts, elles se désintègrent. Concernant l'effet de l'alcalinité, les plumes peuvent résister à une alcalinité modérée, mais elles se dissolvent sous une forte alcalinité. Cette étude vise à réduire à la fois l'effet environnemental et le coût du mortier en substituant partiellement le sable naturel par le sable obtenu à partir de plumes de poulet, qui est communément accessible sous forme de mortier. Déchet dans l'industrie avicole. Tout d'abord, les plumes de poulet ont été

Introduction générale

nettoyées à l'eau pour éliminer les déchets. Les plumes de poulet ont ensuite été séchées à température ambiante pendant 24 h avant d'être rôties au four électrique. Four à 170° C pendant 4 h. Enfin, les plumes de poulet ont été broyées dans un broyeur électrique.

Cette étude vise à améliorer le comportement en résistance à la compression du mortier en utilisant de la poudre de plumes de poulet comme substitut de ciment non traditionnel, peu coûteux et durable. Cela sera réalisé en comparant l'efficacité du mortier de poulet à celle du mortier naturel. Pour parvenir à ce point de vue, quatre mélanges de mortiers conventionnels ont été conçus et coulés ; le premier mélange était le mélange de contrôle, censé avoir une résistance de 30 MPa. Cette recherche examine les performances de mortiers modifiés qui utilisent de la poudre de plumes de poulet comme remplacement partiel du ciment à des taux de 5 %, 10 % et 15 %. Un test de consistance a été utilisé pour contrôler les qualités du mortier frais, tandis que des tests d'absorption d'eau, de poids unitaire, de résistance à la compression après 7, 14 et 28 jours et de résistance à la flexion ont été utilisés pour contrôler les propriétés du mortier durci.

Enfin, des analyses microstructurales ont été effectuées pour confirmer et valider les résultats des tests antérieurs.

Pour la réalisation de ce projet nous avons proposé le plan de travail suivant :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique sur les mortiers ;
- ✓ Le deuxième chapitre présente généralité sur les plumes de poulet ;
- ✓ Le troisième chapitre présente les matériaux utilisés et les différentes méthodes expérimentales réalisées pour déterminer les caractéristiques matériaux composites ;
- ✓ Le quatrième chapitre décrit les résultats acquis durant cette étude et leurs interprétations ;
- ✓ Finalement, ce mémoire s'achève par une conclusion générale des travaux réalisés et présente les perspectives de l'étude de ce mortier fabriqué avec la poudre de plumes de poulet.

CHAPITRE I

Généralités sur les mortiers

I. Chapitre 1 généralité sur les mortiers

I.1. Introduction

Les mortiers jouent un rôle essentiel dans la construction en reliant divers éléments. Ils sont composés de liants, d'eau, de granulats et parfois d'adjuvants (Smith, 2018). Il existe plusieurs types de mortiers, comme ceux à base de ciment, de chaux ou d'autres liants, adaptés à différentes utilisations (Jones, 2020). Cette étude se penche sur les différents types de mortiers et examine comment l'utilisation de déchets naturels peut influencer leur composition et leurs propriétés (Doe, 2019)

I.2. Les constituants des mortiers :

Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

1. Liant (ciment ou chaux).
2. Sable.
3. Eau.
4. Adjuvants.

I.2.1. Le Liant :

On utilise généralement des liants hydrauliques qui peuvent être le ciment, cette dernière est une matière pulvérulente à base de silicate et d'aluminate, et de la chaux obtenue par la cuisson. [1]

Généralement, on peut utiliser:

- ✓ Les ciments normalisés (gris ou blanc) ;
- ✓ Les ciments spéciaux (alumineux fondu, prompt,) ;
- ✓ Les liants à maçonner ;
- ✓ Les chaux hydrauliques naturelles ;
- ✓ Les chaux éteintes.

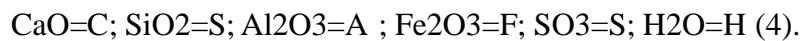
I.2.2. Le ciment

Le ciment est une matière pulvérulente se présentant sous l'aspect de poudre très fine formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il désigne également, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier.

Autrement on peut dire que le ciment est une gangue hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre utilisée avec de l'eau pour agréger du sable fin et des graviers (granulats) pour donner le béton et le mortier [2]

I.2.2.1. Définition du ciment portland

Le ciment est un liant hydraulique, matériau inorganique finement broyé, lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il forme une pâte qui fait prise, durcit et conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker portland, de gypse et éventuellement d'additifs telles que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau, la fumée de silice, pouzzolanes naturelles. [3]. Une notation cimentière a été établie pour simplifier l'écriture des phases solides. Les équivalences sont les suivantes:



I.2.2.2. Etapes de fabrication du ciment portland

Le ciment est produit à partir des roches facilement accessibles: calcaire, craie, marbre et argile. De façon générale, un mélange renfermant environ 80% de calcaire et 20% d'argile. Le mélange, finement broyé, est porté à 1450°C dans un four rotatif pour produire le clinker. Le ciment résulte d'un broyage très fin de clinker.

Lors de la phase de broyage, du gypse (5%) est ajouté pour mieux maîtriser le temps de prise. A ce niveau, éventuellement d'autres constituants minéraux associés, parmi ces substances figurent la pouzzolane naturelle, le laitier de haut fourneau, le calcaire, les cendres volantes, [5]

➤ **Extraction et concassage :**

Les deux principales matières premières nécessaires à la fabrication du ciment Portland sont le calcaire (majoritairement composé de carbonate de calcium CaCO_3) et l'argile (composée principalement d'un mélange complexe et souvent hydraté de silice (SiO_2), d'alumine (Al_2O_3) et d'oxyde de fer (Fe_2O_3)). Elles sont généralement extraites des carrières à ciel ouvert situées à proximité de la cimenterie puis concassées en blocs de taille inférieure à 150 mm. Le mélange (environ 20% d'argile ou de marne pour 80% de calcaire) est ensuite pré-homogénéisé. [6]

➤ **Préparation de la matière première (Cru) :**

Les morceaux de calcaires et d'argile sont broyés très finement et sont intimement mélangés pour donner le cru.

Deux techniques de fabrication sont utilisées : le mélange est préparé sous forme de poudre (c'est la voie sèche ou demi-sèches) ou sous forme de pâte (c'est la voie semi-humide ou humide).

La voie sèche est aujourd'hui la plus utilisée. La pratique de la pré-homogénéisation affine considérablement le dosage du calcaire et de l'argile, par l'empilement de nombreuses couches des deux matières premières.

Au sortir de la pré-homogénéisation, le mélange est broyé très finement pour donner ce cru dont nous venons de parler. Le cru est ensuite ré-homogénéisé par fluidisation. La composition du cru respecte généralement les proportions suivantes [6]:

Tableau I.1 : La composition chimique du cru [6]

Composant du cru	Proportion
Carbonate de calcium (CaCO_3)	77 à 83 %
Silice (SiO_2)	13 à 14%
Alumine (Al_2O_3)	2 à 4%
Oxyde de fer (Fe_2O_3)	1,5 à 3 %

➤ **Cuisson du cru :**

Un échangeur de chaleur comportant une série de quatre à cinq cyclones dans lesquels la poudre déversée à la partie supérieure descend vers l'entrée du four rotatif. Elle se réchauffe au contact des gaz chauds circulant à contre-courant, en sortant de ce four, et se décarbonate en partie. Une décarbonation plus complète peut-être obtenue par l'ajout d'un foyer complémentaire situé dans le cyclone inférieur (pré calcination). La poudre est ainsi portée à une température comprise entre 800 °C et 1000 °C.

Un four horizontal rotatif cylindrique en acier (avec revêtement intérieur réfractaire) de 50 à 90 m de long, de 4 à 5 m de diamètre, légèrement incliné et tournant de 1 à 3 tours/minute. La matière pénètre à l'amont du four (en partie haute) où s'achève la décarbonation, et progresse jusqu'à la zone de clinkérisation (environ 1450 °C). Le temps de parcours est de l'ordre d'une heure. Sous l'effet de la chaleur, les constituants de l'argile, principalement composée de silicates d'alumine et d'oxydes de fer, se combinent à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et des aluminates de calcium. Tout en améliorant la qualité des produits, les industriels ont fortement réduit au cours des dernières années la consommation d'énergie nécessaire à la cuisson, qui est de plus en plus apportée par des combustibles de substitution. En outre, l'industrie cimentière contribue aussi à la protection de l'environnement en valorisant les sous-produits industriels, inutilisables pour d'autres emplois. Les rejets des usines sont sensiblement inférieurs aux normes. [7]

➤ **Broyage :**

À la fin de la cuisson, la matière brusquement refroidie se présente sous forme de granules qui

constituent le clinker. Celui-ci, finement broyé avec du gypse (moins de 5 %) pour régulariser la prise, donne le ciment Portland. Les autres types de ciment sont obtenus en ajoutant d'autres constituants tels que du laitier de haut fourneau, des cendres volantes, des schistes calcinés, du calcaire, des fumées de silice ou encore des fillers. [7]

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

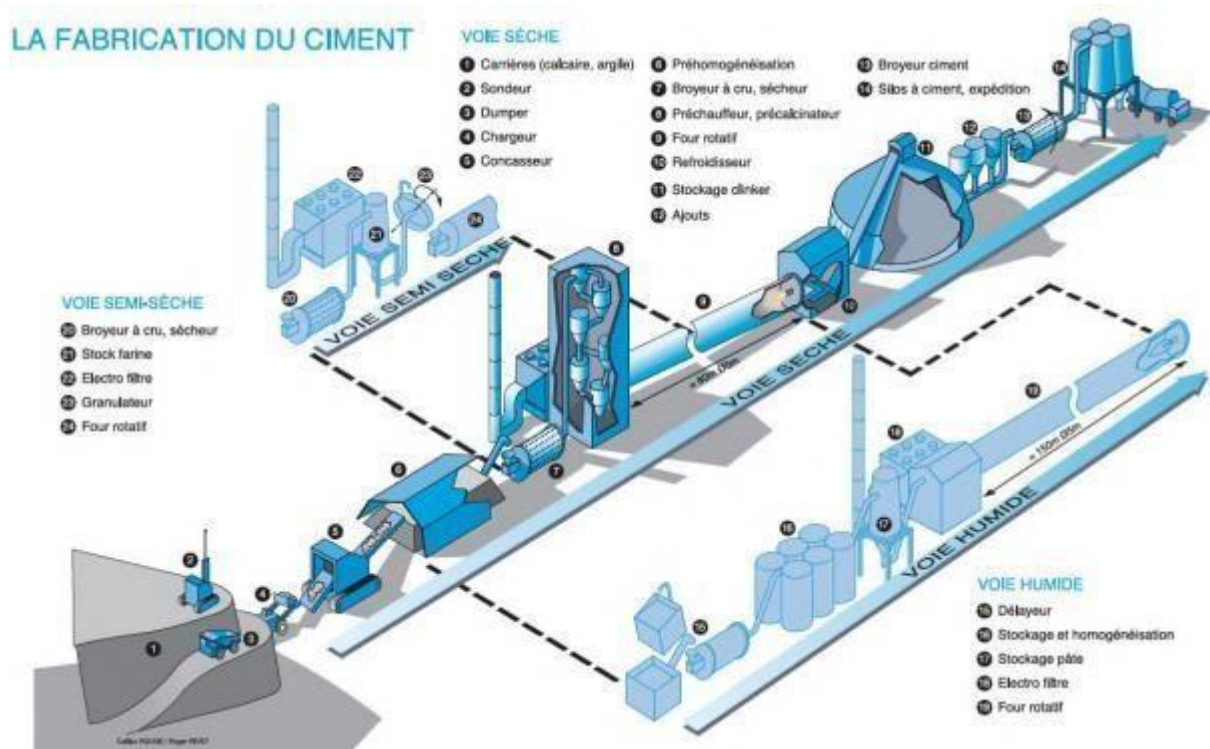


Figure I.1: Schéma de fabrication du ciment portland selon les différentes voies.[5]

I.2.2.3. Constituants du ciment

Les ciments sont constitués, par mélange et broyage. Ils se composent de:

a. Le clinker :

Le constituant principal des ciments industriels actuels est le clinker, mot anglais signifiant scorie. Il est obtenu en cuisant, vers 1450°C, des mélanges appropriés de calcaire et d'argile, appelés crus. L'argile, principalement composée de silicates d'alumine, se scinde sous l'effet de la chaleur en ses constituants, silice et alumine, qui se combinent ensuite à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et des aluminates de chaux.

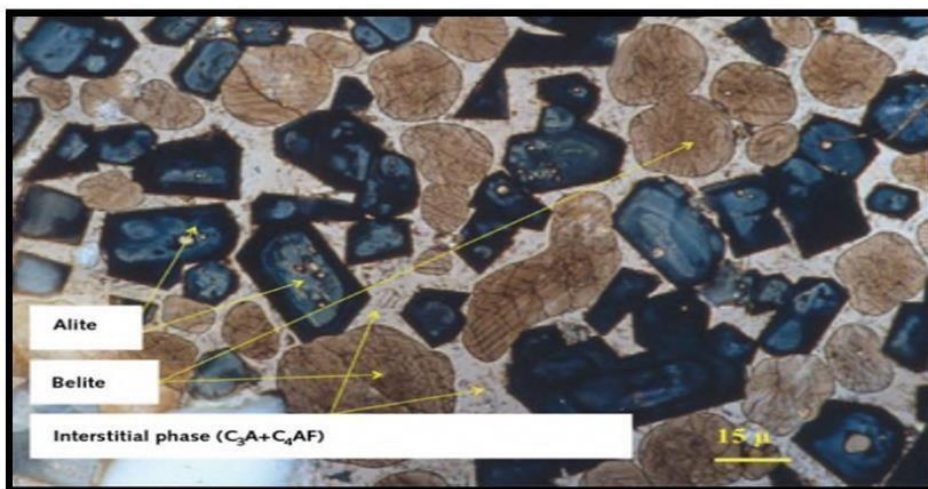


Figure I.2: Microphotographie d'un clinker. [8]

a.1. Composition chimique et minéralogique du clinker

a.1.1. Composition chimique

La composition chimique du clinker est comme suit [9]:

- **CaO**: Il est lié avec SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , à l'état libre on l'appelle chaux libre (CaO). Ce dernier provoque une inégalité de changement de volume du ciment pendant l'hydratation (expansion), la résistance du ciment augmente en cas d'augmentation de CaO liée, cependant la stabilité chimique de ce ciment diminue en milieu agressif.
- **SiO₂**: Il se combine avec le CaO en formant les silicates de calcium, un pourcentage élevé de C_2S , dans ce cas le ciment durcit lentement ainsi sa résistance augmente à long terme. L'augmentation de C_2S donne une grande durabilité au ciment surtout au milieu agressif
- **Al₂O₃**: Il contribue à la prise et au durcissement rapide du ciment, cependant une grande teneur en Al_2O_3 donne un ciment très sensible à la couche sulfatée
- **Fe₂O₃**: Il joue le rôle du fondant, il diminue considérablement la température de clinkerisation. Il contribue à l'augmentation de la stabilité chimique dans les creux sulfatés.
- **MgO**: Il ne doit pas dépasser les 5%, l'augmentation de ce dernier provoque l'augmentation du volume (expansion)
- **TiO₂**: Il provient de l'argile.
- **MnO₂**: Il fait partie du clinker (1,5%)
- **P₂O₅**: Il est présent sous forme d'impureté (0,2 à 0,3%), il ralentit le durcissement.
- **Na₂O** et **K₂O**: Ils représentent un faible pourcentage (0,5%), la formation des alcalis provoque la diminution de la résistance mécanique et ralentit l'hydratation.

Tableau I.2: Teneurs moyennes des oxydes constitutifs du clinker. [5]

Oxydes constitutifs	Teneur limite (%)	Source
CaO	60 à 69	Calcaire
SiO ₂	18 à 24	
Al ₂ O ₃	4 à 8	Argile
Fe ₂ O ₃	1 à 8	
MgO	0 à 5	
Alcalis (K ₂ O et Na ₂ O)	0 à 2	Calcaire et argile
SO ₃	0 à 3	

a.1.2. Composition minéralogique

On appelle clinker le produit tel qu'il sort du four après cuisson des matières premières, ces principaux minéraux sont:

- **Alite (C₃S)**: L'alite ou le silicate tricalcique, formulé $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou C_3S en notation cimentière, est le principal constituant anhydre du clinker, qui lui confère ses propriétés hydrauliques.
- **Belite (C₂S)**: La belite ou le silicate bi calcique, formulé $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou C_2S en notation cimentière, est le constituant qui permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et à long terme.

- **Aluminate (C3A):** C'est la phase qui réagit en premier lors de l'hydratation en dégageant une grande quantité de chaleur (réaction exothermique), elle contribue essentiellement à la prise de la pâte du ciment. Elle est facilement attaquable par les sulfates.
- **Ferrite (C4AF):** Forme la solution solide C2A et C2F, elle réagit moins que C3S, son rôle est mineur dans les réactions de durcissement. En plus de ces quatre phases le clinker peut contenir également:
- **La chaux libre (CaO):** dont le pourcentage ne peut pas dépasser 2% (risque d'expansion).
- **Périclase (MgO):** dont le pourcentage ne peut pas dépasser 5% (risque d'expansion).

Tableau I.3: Composition minéralogique du clinker [5]

Teneur (%)	Composant minéralogique
40 à 70	Silicate tricalcique (C ₃ S)
0 à 30	Silicate bicacique (C ₂ S)
2 à 15	Aluminate tricalcique (C ₃ A)
0 à 15	Ferro-aluminate tétracalcique (C ₄ AF)

b. Le gypse

Le gypse dénommé aussi gypsite est une roche saline commune des bassins sédimentaires soumis à subsidences, elle est composée principalement du minéral gypse, minéral salin très commun des séries sédimentaires, et de sulfate doublement hydraté de calcium. Ce dernier est à la fois une espèce chimique et une espèce minérale, décrite par la formule CaSO₄.2H₂O. Le gypse est la roche qui permet de fabriquer industriellement le plâtre. [3]

Tableau I.4: Composition chimique du gypse[5]

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl-
%	10,05	2,99	1,55	26,90	3,86	0,41	0,05	30,33	0,007

c. Les ajouts

L'utilisation accrue des ajouts cimentaires s'avère une méthode éprouvée pour lutter contre les changements climatiques et améliorer la qualité de l'air.

Les ajouts cimentaires sont ajoutés au clinker afin de produire un ciment mélangé ou ajoutés au mélange de béton comme agent complémentaire.

Ce sont des matières premières naturelles, artificielles, sous-produits d'une autre industrie, résidus industriels ou déchets industriels polluants ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine crue, soit au clinker Portland avant ou après le broyage, leur pourcentage dans la masse varie suivant le but de l'addition et le rôle qu'ils peuvent jouer, ainsi on trouve des ajouts en faibles teneurs, moyennes ou en fortes teneurs. On distingue deux types d'ajouts: inertes et actifs [10].

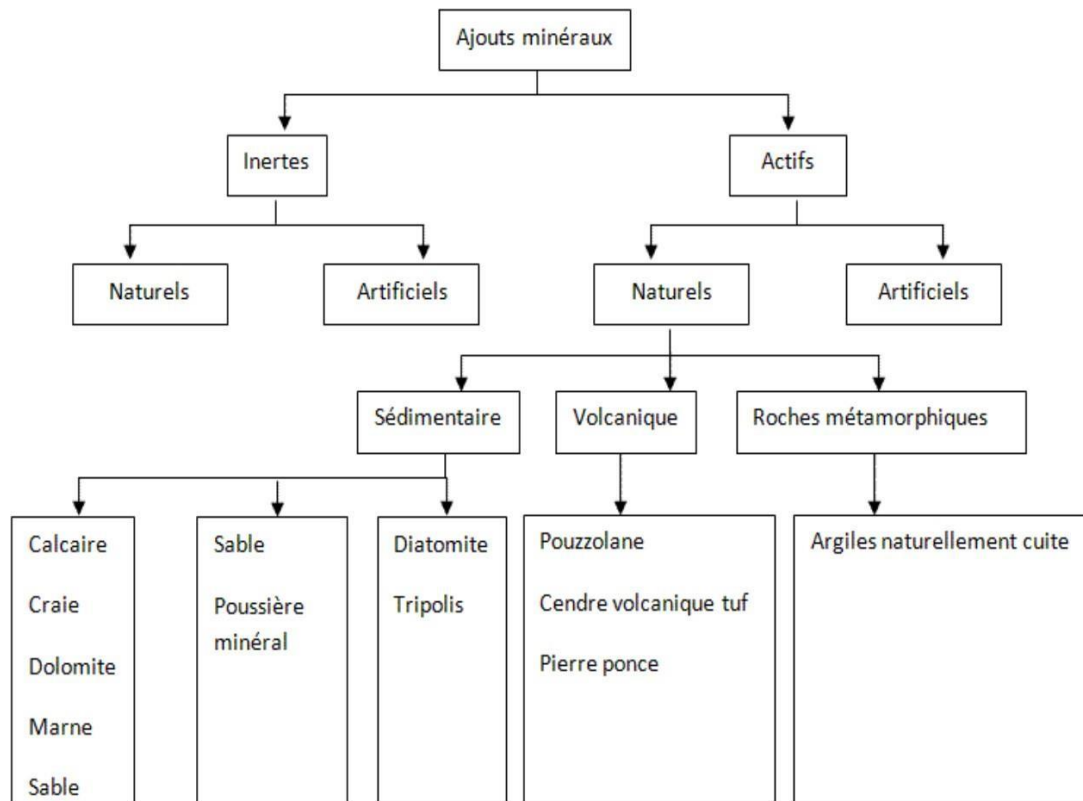


Figure I.3: Différents types d'ajouts cimentaires [5]

I.2.2.4. Classification de ciment

La classification des ciments se fait selon trois critères (11):

- **Selon leur composition:** CPA/CPJ/CPZ/CHF/CLK/CLC ou CEM I, II, III.
- **Selon leur résistance:** 32,5, 42,5, 52,5 N/mm².
- **Selon la vitesse de prise:** N pour une prise normale et R pour une prise plus rapide.

I.2.2.5. Caractéristique du ciment :

a. Caractéristiques physico-chimiques

Comme cela a été étudié précédemment, le ciment est essentiellement constitué de:

- Silicate tricalcique: C3S
- Silicate bicalcique: C2S
- Aluminate tricalcique: C3A
- Ferro-Aluminate tétracalcique: C4AF

Une fois la poudre de ciment mélangé à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise. Les réactions chimiques d'hydratation s'accompagnent d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon le ciment et la rapidité de prise. [5]

- **Indice d'hydraulicité**

L'indice d'hydraulicité ou indice de Vicat est le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique.

$$I = \frac{\text{Fraction acide}}{\text{Fraction basique}} = \frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

- **Prise**

Le début et la fin de prise dépend de plusieurs paramètres, il varie notamment suivant la composition chimique et la finesse de mouture de ciment étudié, il dépend aussi de la température ambiante et le cas échéant, des dosages en adjuvant, Utilisés à une même température et sans adjuvant, deux ciments différents pourront se distinguer, par une plus ou moins grande rapidité de prise, l'objectif de cet essai est de définir pour un ciment donné un temps qui soit de cette rapidité de prise EN 196-3. La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

- ✓ 1h30 pour les ciments des classes : 32,5 et 32,5R.
- ✓ 1h pour les ciments des classes : 42,5-42,5R-52,5-52,5R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C. [12]

- **Durcissement**

Le durcissement est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques transformant après la prise, le système Ciment – Eau en une masse solide résistant aux efforts mécaniques. Il y a enchevêtrement des cristaux, ce qui donne à la pâte une adhésion et une dureté, c'est le durcissement. [5]

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître. Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ». Il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistance. [10]



Figure I.4: le développement de la pâte de ciment avec les temps [10]

- **Chaleur d'hydratation**

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leur pourcentage relatif, le dégagement de chaleur est donc plus au moins important. Suivant le type de ciment, cette chaleur est comprise à 12h, approximativement, entre 65j/g pour certain CPA-CEMI. [5]

- **Finesse de mouture**

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimé en (cm^2/g) dans les cas courants, elle est de l'ordre (**norme NF EN 196-6**), de 2800 et 5000 cm^2/g .

Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée. [13]

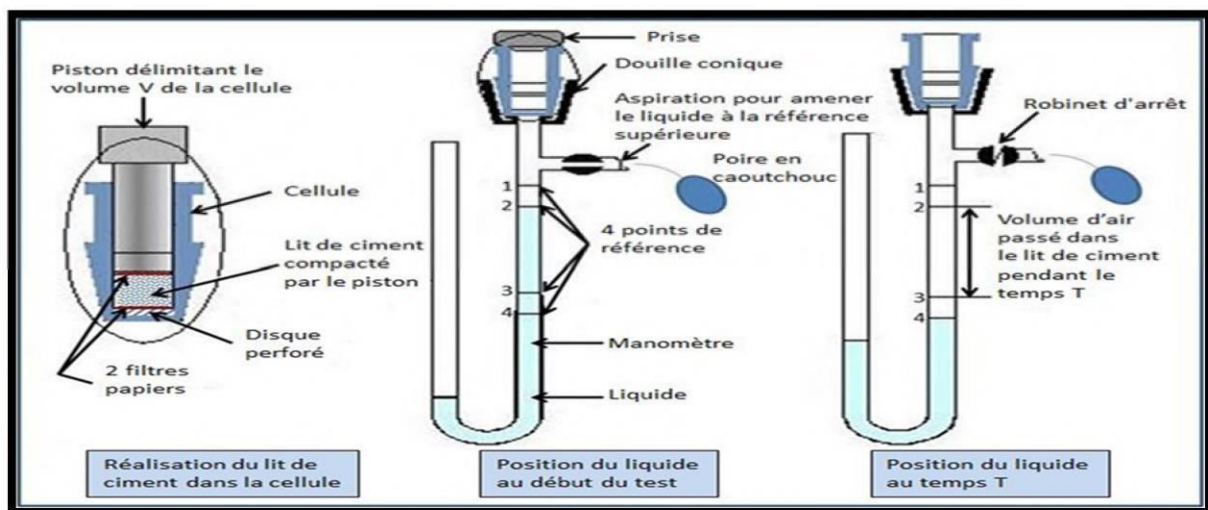


Figure I.5: Principe de la méthode Blaine [13]

- **Retrait**

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et ceci pendant des durées d'autant plus longues que les pièces sont massives.

C'est le retrait qui est cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton et mortier.

L'importance du retrait hydraulique, en dehors du facteur de temps, est en fonction de nombreux paramètres parmi lesquels :

- Le dosage en E/C
- La propriété des sables.
- La forme et la dimension du granulat [13]

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50 %. [14]

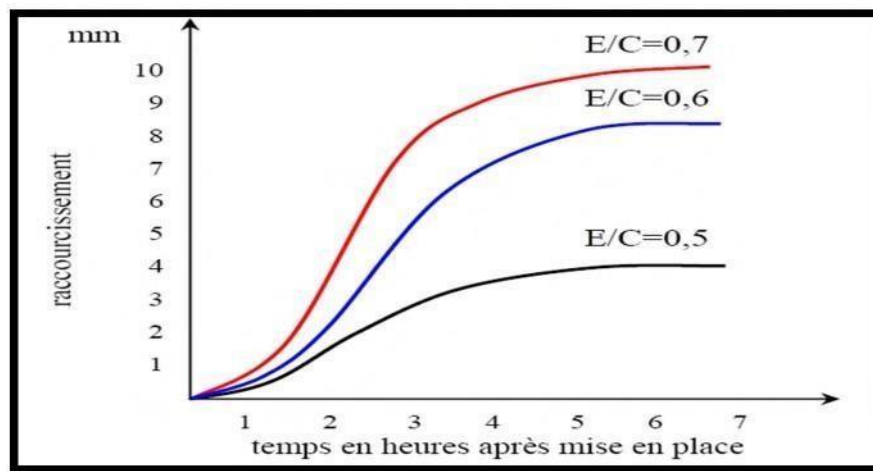


Figure I.6: influence d'E/C sur le retrait des mortiers [13]

Les valeurs limites, à 28 jours de :

800 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour les ciments portland CPA-CEM I et CPJ-CEM II de classe 32,5 R, 32,5 R

1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ pour types de ciment identique mais des classes 42,5 et 42,5 R.

- **Expansion**

Les causes possibles de l'expansion proviennent de l'hydratation des oxydes de calcium ou de magnésium que peuvent contenir certains ciments sous forme de chaux ou de magnésie libre. Les ciments doivent être stables, car les risques d'expansion dans le temps peuvent provoquer des désordres importants par dislocation des maçonneries. [5]

- **Gonflement**

Bien que non normalisé, il est utile de rappeler qu'alors qu'il se rétracte dans l'air, le ciment augmente de volume lorsqu'il est immergé dans l'eau, sa variation dimensionnelle étant environ 1/10ème de celle constatée dans l'air. [12]

- **L'hydratation :**

Le ciment est un liant hydraulique qui donne lorsqu'il se combine à l'eau, des hydrates stables qui lui confèrent une résistance mécanique. La réaction chimique d'hydratation du ciment regroupe la totalité des réactions entre le ciment et l'eau dès le début du gâchage et qui se poursuivent dans le temps, pendant plusieurs mois.

Les mécanismes fondamentaux de l'hydratation du ciment ont été mis en lumière dès la fin du 19ème siècle par **Henri LE CHATELIER (1887)**. Il a notamment décrit trois étapes relatives à la prise du ciment [15]:

- La dissolution des constituants du ciment dans l'eau.
- A formation de solutions sursaturées par rapport aux différents hydrates.
- La précipitation et la cristallisation de ces hydrates dans les vides inters granulaires.

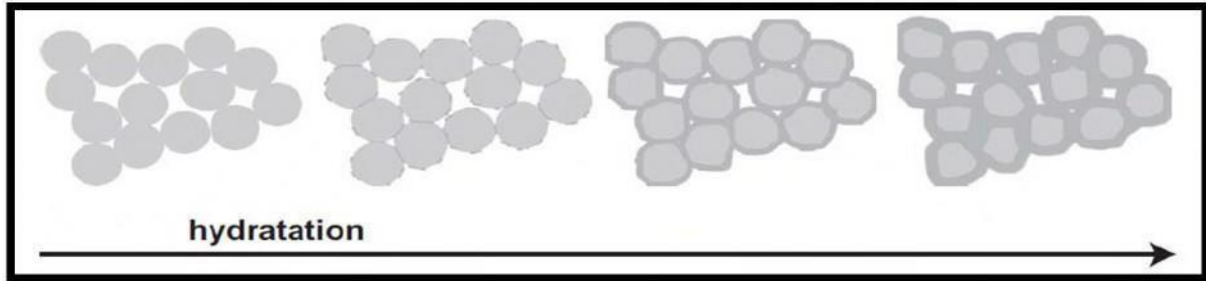


Figure I.7: Représentation bidimensionnelle de l'empilement de grains de ciment dans la pâte. [16]

- **La Portlandite :**

La Portlandite est le nom minéralogique de l'hydroxyde de calcium cristallisé. Son nom vient, bien sûr, du fait qu'on la trouve dans le ciment Portland hydraté. C'est la phase la plus soluble de la pâte de ciment hydratée (1,6 g/L ce qui correspond à un pH de 12,6). Sa présence dans la pâte de ciment, par son équilibre de solubilité maintient le pH élevé de la solution interstitielle. C'est également une des phases les mieux cristallisées Figure (I.11). Elle cristallise sous forme de cristaux hexagonaux plus ou moins développés dans la pâte de ciment, les pores et l'interface pâte/granulat.

- Les Silicates de calcium hydratés (C-S-H) :

Les C-S-H constituent la majeure partie de la phase liante de la pâte de ciment. On parle souvent de gel de C-S-H se référant à des composés amorphes. Ce sont en fait des composés nanocristallins constitués de particules nanométriques agrégées les unes aux autres. La principale caractéristique du C-S-H est qu'il porte une forte densité de charges électriques de surface. En ce qui concerne sa stabilité le C-S-H est très peu soluble dans une solution saturée par rapport à la portlandite (de l'ordre de 1 mg/L), sa solubilité augmente quand la concentration en hydroxyde de calcium en solution diminue et si le pH descend en dessous de 10, il se dissout au profit de la silice qui devient moins soluble.

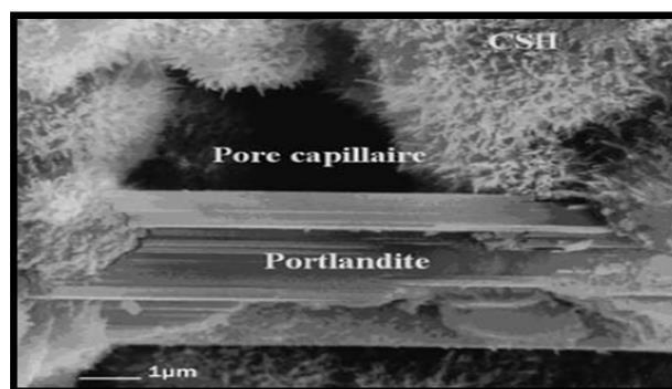


Figure I.8: Morphologie du C-S-H et Cristaux de Portlandite [16]

- **La masse volumique :**

- **Apparente :** La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, en tenant compte des vides qui peuvent exister entre les grains. Elle est déterminée selon la Norme **NF EN 1097-6**. Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments inclus). Elle est de l'ordre de 800 à 1300 kg/m³ (1 kg par litre) en moyenne pour un ciment [7]

- **Absolute :** C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). Elle est déterminée selon la norme **NF EN 1097-7**, La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue les granulats. On a procédé par l'utilisation la méthode du flacon (pycnomètre). Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments exclus). Elle varie de 2 900 à 3150 kg/m³ suivant le type de ciment. [12]

b. Caractéristiques chimiques

Les exigences les plus importantes à respecter sont résumées dans le tableau ci-dessous:

Tableau I.5: Exigences chimiques définies en termes de valeurs caractéristiques des ciments courants [5]

Propriétés	Type de ciment	Classe de résistance	Valeur maximale (%)
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	Toutes les classes	≤ 5
MgO	CPA-CEM I	Toutes les classes	≤ 5
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	Toutes les classes	≤ 5
SO ₃	CPA-CEM I Et CPJ-CEM II (*)	32.5 32.5R 42.5	≤ 3.5
	CPZ-CEM IV Et CLC-CEM V CHF-CEM III	42.5 52.5 52.5R Toutes les classes	≤ 4
Chlorures	Tous les types de ciment (**)	52.5R Toutes les autres classes	≤ 0.05 ≤ 0.10

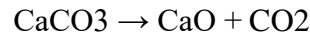
(*) Valable pour les CPJ-CEM II/A et B à l'exception des ciments ne contenant que des schistes calcinés comme constituant, autre que le clinker, pour lesquels la limite est de 4.5 % pour toutes les classes de résistance.

(**) Les CHF-CEM II/A et B et les CLK-CEM III/C peuvent contenir plus de 0.10% de chlorures mais dans ce cas la teneur doit être déclarée. [5]

c. La chaux

c.1. Définition de la chaux :

Le terme de chaux est générique. Il regroupe un grand nombre de produit, dont le seul point commun est d'être obtenu par calcination, c'est-à-dire chauffage à haute température de calcaire. La cuisson décompose le carbonate de calcium CaCO_3 qui est le principal constituant du calcaire, pour libérer le gaz carbonique CO_2 , et laisser la chaux vive CaO :



La chaux vive CaO ne peut être utilisée directement, car son hydratation s'accompagne d'un gonflement inadmissible dans un ouvrage. Donc on procède à son hydratation de façon à ce que on obtienne une chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sous forme de poudre blanche, légèrement soluble dans l'eau, et présentant les propriétés d'un liant¹.

Dans ce schéma on peut voir l'ensemble des transformations que subissent la pierre à chaux et la chaux dans la chaîne opératoire du mortier [16]

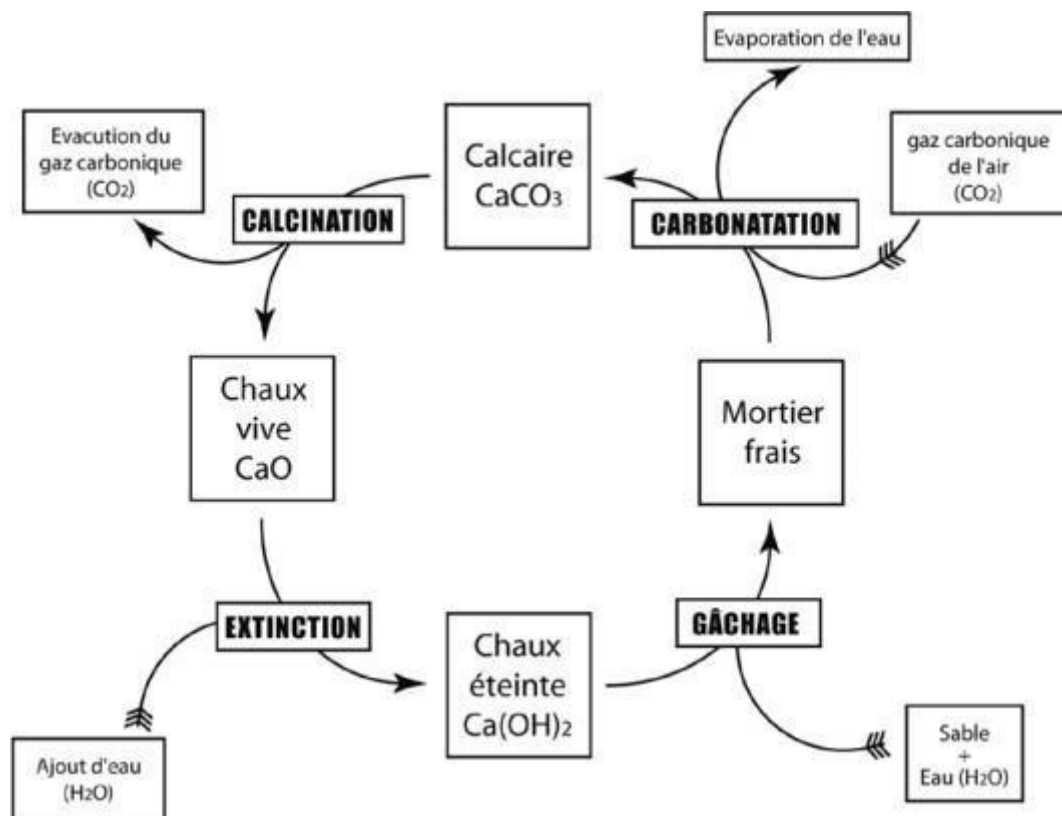


Figure I.9: Cycle de la chaux [17]

d. L'eau**d.1.1. L'eau de gâchage**

L'eau remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Il convient de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent beaucoup pour les mortiers et le béton. Dans le cas du béton, un faible rapport eau/ciment est préférable.

Les mortiers doivent contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau doit être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser, généralement les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers sont des bétons sont précisées dans la norme **NF EN 1008**. [18]

d.1.2. Les types des eaux

Ces impuretés éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, du sable soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité sont indésirables. Il a trois types de molécules d'eau dans les pâtes de ciment durcies [19]:

L'eau chimiquement liée : Elle n'est plus considérée comme faisant partie de la phase liquide car cette eau est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation.

L'eau adsorbée : c'est l'eau fixée à la surface du solide, Elle est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des pores soumises aux champs des forces électrostatiques superficielles des particules la structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas -là.

L'eau libre : Cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle se trouve dans les pores capillaires en particulier les macropores. Elle migre la première lors du ressuage et de la dessiccation.

a. Les Granulats :

D'origine naturelle ou artificielle ils sont un ensemble de grains inertes. Leur rôle est essentiel, car ils contribuent à la résistance des mortiers grâce à l'armature qu'ils forment.

Les granulats sont désignés par leur dimension inférieure d et supérieure D de tamis de contrôle à maille carrée dans la série normalisée, exprimé d/D . les intervalles d/D et $0/D$ sont également appelés classe granulaire. [20]

Le granulat est primordial pour la confection des mortiers, la chaux aérienne n'est jamais employée seule dans la maçonnerie, sinon plusieurs phénomènes secondaires apparaîtraient : la perte de volume due à la carbonatation serait à l'origine d'une indésirable fissuration ; le cœur de la masse ne pourrait pas durcir, faute de contact avec l'air, et la plasticité interne provoquerait des tassements et des glissements dangereux pour la structure.

Le granulat généralement employé pour la confection des mortiers est le sable, mais on utilise aussi ce terme pour désigner les fragments de terre cuite, les charbons de bois et la paille qu'on ajoute aux mortiers de chaux. [17]

b. Sable :

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du mortier. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire. Le sable naturel qui est le plus couramment employé comme granulat fin au mortier, pour les besoins de la construction et des travaux publics. Sable en entend tous granulats **0/D** conformes aux définitions des normes **NF P 18-101** et **NF P 18-301**. [21]

On appelle 'sables' les granulats de petites dimension issues de désagrégation des roches, les sables sont chimiquement inertes. Le sable est l'élément qui assure au mortier, Selon ses qualité une influence prépondérante : il participe à la résistance, il donne la cohésion Au mélange.

b.1. Classification des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- **Sable de rivière** : Il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de Mer** : Il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel. [21]
- **Sable de dune** : C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [22]
- **Sable de concassage** : Connue aussi sous l'appellation du sable de carrière, est obtenu à partir du concassage des roches calcaires, andésite, granite, dolomie et basalte. Ses dimensions se situent entre 0 et 6 mm En raison du processus de broyage, le sable de concassage diffère des sables naturels par la granulométrie, la forme et la texture des particules, de même il contient généralement entre 10 % et 20 % de fines (les particules passant au tamis de 80 μ m). Les fines sont généralement très probablement les plus petites fractions granulométriques de granulat concassé dans le sable de concassage, il faut limiter le pourcentage des fines.

b.2. Les caractéristiques des sables :

A fins d'obtenir de bons mortier durables et résistants, il faudrait que l'étude des constituants de ces mortiers soit rigoureuse. On cite quelques caractéristiques :

b.2.1. Les caractéristiques géométriques -Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NF EN 933-1**, [Normes AFNOR], qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension inférieure ou égale à 80 mm, en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Tableau I.6: classification normalisée des sables. [23]

Granulat		Ecartement des mailles des tamis (mm)
fines		< 0.08
Sable	Fine	0.08 - 0.315
	Moyen	0.315 – 2
	Gros	2.00- 5.00

- **Module de finesse :** Les sables sont caractérisés par le module de finesse (**MF**). Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur différents tamis. Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du sable. Plus le module de finesse est faible plus le sable est fin. La série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse.

Tableau I.7: Les valeurs de module de finesse MF (Norme NFP 18-540) [24]

Série1	Tamis (mm)	0.16	0.315	0.63	1.25	2.5	5	NF P 18-540
Série2	Tamis (mm)	0.125	0.25	0.5	1	2	4	EN 12620

- **MF = 1.8 à 2.2 :** le sable est à majorité de grains fins.
- **MF = 2.2 à 2.8 :** On est en présence d'un sable préférentiel.
- **MF = 2.8 à 3.3 :** le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

b.2.2. Les caractéristiques physico-chimiques :

- **Equivalent de sable :(p15-598)**

Cet essai est défini par la norme **NF P 18-598** [Normes AFNOR], il est utilisé pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du mortier, par conséquent la proportion des impuretés argileuses contenants dans le sable par rapport à la quantité des grains solide sableux.

Il est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Il consiste de laver un poids défini de sable dans une solution la vente.

Après agitation, on laisse le mélange se décanter pendant 20 min.

Tableau I.8: les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable (ES) [12]

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement, rejeté pour des bétons de qualité
65 < ES < 75	60 < ES < 70	Sable légèrement argileux : de propriété admissible pour des bétons de qualité courant quand on ne craint pas particulièrement de retrait
75 < ES < 85	75 < ES < 80	Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
ES < 85	ES > 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton

- **Teneur en eau (W %) : P18-555**

La teneur en eau W d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. [7]

b.2.3. Caractéristiques physiques et mécaniques :

- Les masses volumiques :

Les masses volumiques des granulats sont définies et déterminées suivant les normes : NF P 18-554, 18-555, 18-558, EN 1097-3, EN 1097-6

a) Masse volumique apparente ou en vrac (NF P 18-554) :

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement des grains.

Elle est comprise entre 1400 kg/m³ et 1600 kg/m³ pour les granulats roulés silicocalcaires. La masse volumique réelle du granulat (vides entre grains exclus) est nettement plus élevée de 2500 à 2600 kg/m³. [7]

b) Masse Volumique Absolue (NF P 18-555) : C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). Il existe 3 façons

Généralement employées pour déterminer ces masses volumiques en fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat : méthode de l'éprouvette graduée et méthode de la mesure au pycnomètre.

c. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ de 5% du poids de ciment).

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, les superplastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) et les hydrofuges.

Cependant, leur emploi n'est généralement pas recommandé, pour les raisons suivantes:

- On ajoute les adjuvants qui servent à aérer en vue d'améliorer la maniabilité et la durabilité du mortier. Toutefois, des recherches ont démontré que des contenus d'air dans le mortier en excès de 12 % augmentent la probabilité que l'humidité y pénètre en plus de diminuer l'adhérence.
- On utilise quelque fois un antigel ou autre produit semblable pour abaisser le point de congélation du mortier afin de poser de la brique par temps froid. Toutefois, pour que cette méthode soit efficace, il faut ajouter une quantité considérable et cela diminue considérablement l'adhérence, en plus de contribuer à l'efflorescence et à l'effritement des surfaces du briquetage. [24]
- Les accélérateurs comme le chlorure de calcium servent à accélérer l'hydratation du mortier par temps froid en vue d'éviter de chauffer les matériaux du mortier. Toutefois, le chlorure de calcium chlorite tend à corroder l'armature dans le mortier. Les accélérateurs, même ceux qui ne contiennent pas de chlorure de calcium, ont tendance à causer de l'efflorescence.
- Une bonne composition du mélange, l'utilisation de matériaux de qualité et une bonne technique permettent habituellement d'obtenir une maçonnerie solide. Par contre, une mauvaise composition, l'utilisation de matériaux de qualité inférieure et une technique défectueuse ne peuvent pas être corrigées par l'emploi d'adjuvants. Selon l'effet recherché, on peut distinguer trois grandes familles d'adjuvants [25].

Tableau I.9: Différentes actions des adjuvants [5]

Action	Rôle	Domaine d'emploi
La prise	Il diminue le temps ou prise ou durcissement du ciment.	Bétonnage pour temps froid, décoffrage rapide, travaux sous l'eau.
	Il augmente le temps de prise.	Bétonnage par temps chaud, avec coffrage glissant.
L'ouvrabilité	A teneur en eau égale, il augmente l'ouvrabilité du béton et mortier.	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
	A même maniabilité, il augmente les résistances.	Travaux Génie civil, bétonnage avec coffrage glissant.
	Il provoque un fort accroissement de maniabilité.	Fondation, dalles, raideurs, béton pompé.
Les résistances aux agents extérieurs	Il entraîne la formation de microbulles d'air uniformément.	Béton exposé au gel, bétons routiers
	Ils diminuent l'absorption capillaire des bétons et mortiers.	Ouvrage hydraulique, mortiers d'étanchéité.

I.2. Les différents types de mortier

Les mortiers peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. [24]

I.2.1. Mortier de chaux grasse :

Il fait prise en contact avec l'air. Il durcit en surface et reste souple à l'intérieur de la maçonnerie. Cette qualité en fait un mortier qui reste élastique et donc qui ne fissure pas. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques. Mais il ne doit pas être utilisé dans un milieu humide (cave, mur souterrain, etc.). Le mortier de chaux grasse est moins résistant par rapport à un mortier de ciment (gras et onctueux).

La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

I.2.2. Mortier de chaux hydraulique :

Il est fabriqué à partir de calcaires argileux. Il fait sa prise même sans contact avec l'air, sous l'eau par exemple. Ce mortier est employé dans la maçonnerie traditionnelle de pierres ou de briques.

En revanche, il est plus technique et lent à mettre en œuvre, et demande des conditions de température et hygrométrie plus étroites (néanmoins courantes en zone tempérée).

I.2.3. Mortier bâtard :

Le mortier bâtard est constitué par un mélange de ciment et de chaux avec du sable, dans des proportions variables. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide. Il est utilisé également pour la fixation d'éléments de maçonnerie demandant une résistance mécanique plus importante (scellements etc.).

I.2.4. Mortier de terre :

Le mortier de terre est un mortier fait avec de l'argile ou de la terre crue. De par la disponibilité de la matière première, ce type de mortier est ou a été probablement employé partout dans le monde depuis des temps immémoriaux éventuellement en remplacement de la chaux.

I.2.5. Mortiers de fibres :

L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables. Ce sont soit des mortiers pré mélangés, livrés en sac, soit des mortiers prêts à l'emploi, livrés par certaines centrales.

I.2.6. Mortiers industriels secs pré mélangés :

Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration par le fabricant, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité. Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortiers, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre

I.2.7. Mortier de ciment :

Il est plus résistant que les mortiers de chaux mais il reste imperméable à l'air, par conséquent, il maintient l'humidité dans une maçonnerie traditionnelle de pierres qui doit toujours être aérée.

Ce mortier doit être utilisé uniquement pour la maçonnerie des blocs de bétons ou autrement dit de parpaings en ciment.

Sa rigidité en fait un matériau qui a tendance à fissurer sous l'action des écarts de température, notamment alternances gel & dégel, tandis que son imperméabilité l'expose aux moisissures.

En revanche, il est plus facile, rapide, et tolérant à mettre en œuvre. [5]

I.3. Les propriétés des mortiers

I.3.1. Maniabilité

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. On peut citer :

a) La table de secousses :

Le mortier, après avoir été mis en place et de moule d'un moule tronconique, la consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité.

La mesure de la maniabilité qui est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration, Mettre sur la table vibrante et on frappe 30 coups pendant 30 s, alors le tronc de cône modélisé va s'étalée.

On mesure avec la règle métallique le diamètre inférieur pour le tronc dans les directions perpendiculaires, L'étalement est donne par la formule :

$$E\% = (D1+D2)/2$$

Avec : D1 et D2 = Diamètre final dans deux axes

b) Le maniabilémetre du LCPC :

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, parés avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibration pour atteindre un repère grave sur la face intérieure du moule. [26]

I.3.2. La prise :

Le temps de pris se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normal (24 à 26% d'eau) et conformément à la norme NF P 15-431 (à l'aide de l'appareil de Vicat).il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieur. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est alors de 1000 grammes. Le début de pris est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2.5mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de pris, l'instant où l'aiguille s'arrête à 2.5 mm du niveau supérieur. Les temps de prise sur mortier normalise sont un peu longs que sur la pâte pure de consistance normale (le rapport E/C n'est pas e même.). [26]

I.3.3. Résistance mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur prismes de $4*4*16$ cm conservés dans l'eau à 20°C . Les éprouvettes sont rompus en traction par flexion Puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme le logarithme du temps (entre 1 et 28 jours). Les rapports (résistances en compression / résistances en traction par flexion) augmentent dans le temps. Pour le ciment courant, on obtient [26]:

(Entre 4 et 4,5 à 1 Jour) (Entre 4,5 et 5,5 à 2 Jour)

(Entre 5,5 et 6 à 7 Jour) (Entre 6 et 7 à 28 Jour)

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- La nature et dosage en ciment.
- Le rapport C/E.
- La granulométrie et la nature du sable.
- L'énergie de malaxage et mise en œuvre.
- La protection les tous premiers jours.

I.3.4. Retrais et gonflement :

Les retraits se mesurent sur des prismes ($4*4*16$) cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité Relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1.5 à 2.5mm les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2.5 à 3.5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment). Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de ($4*4*16$) cm conservés dans l'eau à 20°C , ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de la chaux inférieure sur pâte pure à 10 mm). On peut distinguer cinq types de retrait [26]:

- Retrait plastique : dû à la dessiccation de la pâte de ciment en début de prise.
- Retrait par auto-dessiccation (endogène) : au cours de l'hydratation.
- Retrait thermique : causé par les différences de température au cours de l'hydratation.
- Retrait à long terme : causé (séchage) par l'évaporation de l'eau contenue dans le béton.
- Retrait de carbonatation : résultant de la réaction chimique qui se produit entre la chaux libérée par l'hydratation et le gaz carbonique de l'atmosphère, cette réaction libère l'eau pour former un carbonate de Calcium. [27]

I.3.4.1. Limitation du phénomène de retrait :

La cause principale du retrait c'est le départ d'eau, de ce fait il existe différentes solutions afin de remédier plus au moins à cela [28]:

- L'utilisation des coffrages étanches non absorbants (retrait à très jeune âge).
- La protection contre l'évaporation précoce de l'eau.
- L'utilisation d'adjuvants ou de produits de cure.
- Éviter un surdosage en ciment.
- Créer des bétons plus compacts (le retrait diminue quand les bétons sont plus compacts)

I.3.5. Durabilité :

L'utilisation de sable concassé comme substitut au sable naturel se répand de plus en plus. Contrairement au sable concassé, le sable naturel contient : des chlorures, des sulfates et autres sels organiques nocifs, Tous ces paramètres influencent la résistance et la durabilité du béton et des aciers.

D'autre part, les recherches récentes ne cessent de valoriser l'utilisation des sables de carrière, étant donné qu'ils présentent de bonnes performances du point de vue durabilité. Les facteurs influençant la durabilité du béton peuvent être internes ou externes au béton.

- Internes : comme la fissuration, perméabilité et diffusivité, porosité, perméabilité aux les ions chlore (présent dans certains accélérateurs et eau de gâchage), réactions alcalis granulats et les ions sulfates
- Externes : comme l'instar des ambiances hivernales (la répétition des cycles de gel dégel, l'action des sels de déverglace et formation de sels gonflants), et des ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux de pluies de neiges, les eaux souterraines, l'eau de mer, les acides, les bases ainsi que toutes les solutions résultant de la dissolution de sel ou de gaz [29]

I.3.6. Porosité :

Des études récentes ont traité la variation de la porosité en fonction du taux de fines des sables concassés. Les résultats des chercheurs étaient en contradiction. En effet selon :

Gonçalves et al. [30] la porosité été inférieure pour les bétons contenant plus de fines. Tandis que Menadi et al. [31] prétendent que la porosité été inférieure pour les bétons contenant moins de fines. De ce fait la porosité des bétons à base de sables de carrière reste dépendante de la forme et de la source des particules.

I.3.7. Influence de sable de carrière sur le mortier :

D'après coquillât et Lesage, en France les tenseurs en fines déterminées expérimentalement comme optimales sont très voisines de celles résultant de la production industrielle des sables, résultat économiquement très intéressant. Pour 9 ou 10 sables sur 12, Les résistances mécaniques des mortiers sont égales ou supérieures à celles du mortier normal. La résistance du mortier à fort dosage en ciment est supérieure de 20 à 25% à celle du mortier normal. La résistance à la flexion et d'adhérence en ont la même allure. Pour les mortiers ayant le même rapport E/C, l'incorporation des particules fines provoque des réductions significatives du slump. En revanche, la résistance à la compression du mortier au sable nature n'était pas affectée d'une façon significative par l'incorporation des particules fines, le mortier au sable concassé à indiquer une augmentation dans la résistance. [32]

CHAPITRE II

Généralité sur les plumes de poulet

II. Chapitre II : Généralité sur les plumes de poulet

II.1. Déchets d'abattoirs :

Le processus de production des viandes génère non seulement de la viande pour la consommation humaine, mais aussi des déchets qui sont soumis à une réglementation afin d'éviter les contaminations, les pollutions, protéger l'environnement et la santé publique. Les déchets d'abattage sont des substances organiques pouvant subir un phénomène de biodégradabilité. Ils proviennent à la fois des opérations d'abattage proprement dites et des activités annexes. Les parties comestibles et non comestibles des viandes blanches et des viandes rouges

Sont représentées par les Tableau II.1 et II.2 :

Tableau II.1: Tableau représentatif des parties comestibles et non comestibles des ovins et des bovins en Algérie

Viande rouge (ovins, bovins)	
Parties non comestibles	Parties comestibles
<ul style="list-style-type: none"> - Sang - Os - Phanère - Glandes et mamelles - Vessies, verge, tractus génital femelle, et placenta - queues - Pancréas, vésicule biliaire et bile - Cornes et sabots - Saisies de viandes et d'organes - Fumier récolté dans les enclos de stabulation - Matières stercoraires contenues dans les réservoirs gastriques 	<ul style="list-style-type: none"> - Têtes - Pieds - Boyaux, réservoirs gastriques - Foie, cœur et rognons - Panses et caillettes - Trachée, rate, queue, et mamelles - Poumons

Tableau II.2 : Tableau représentatif des parties comestibles et non comestibles des volailles

Viande de la volaille (poulet de chair)	
Parties non comestibles	Parties comestibles
<ul style="list-style-type: none"> - Sang - Trachée - Viscères - Têtes - Plumes - Pattes 	<ul style="list-style-type: none"> - Foie - Cœur - Gésier

Après analyse des tableaux, on note de manière générale que les parties non comestibles sont plus nombreuses que les comestibles et ce, quel que soit l'espèce étudiée. De plus, certaines des parties comestibles d'une espèce ne le sont pas forcément chez l'autre. A titre d'exemple, les têtes et les pieds sont comestibles pour les ovins et bovins, alors qu'elles ne le sont pas pour les volailles. Les déchets de volailles étant des parties molles, sont facilement biodégradables et se prêtent donc mieux au compostage comparé à certains déchets issus des bovins et des ovins, notamment les sabots et les cornes.

Selon l'étude réalisée en Vendée, préalablement citée, la répartition en % des différents déchets issus de l'abattage des volailles est représentée par

A titre d'exemple, les têtes et les pieds sont comestibles pour les ovins et bovins, alors qu'elles ne le sont pas pour les volailles.

Les déchets de volailles étant des parties molles, sont facilement biodégradables et se prêtent donc mieux au compostage comparé à certains déchets issus des bovins et des ovins, notamment les sabots et les cornes.

Selon l'étude réalisée en Vendée, préalablement citée, la répartition en % des différents déchets issus de l'abattage des volailles est représentée par

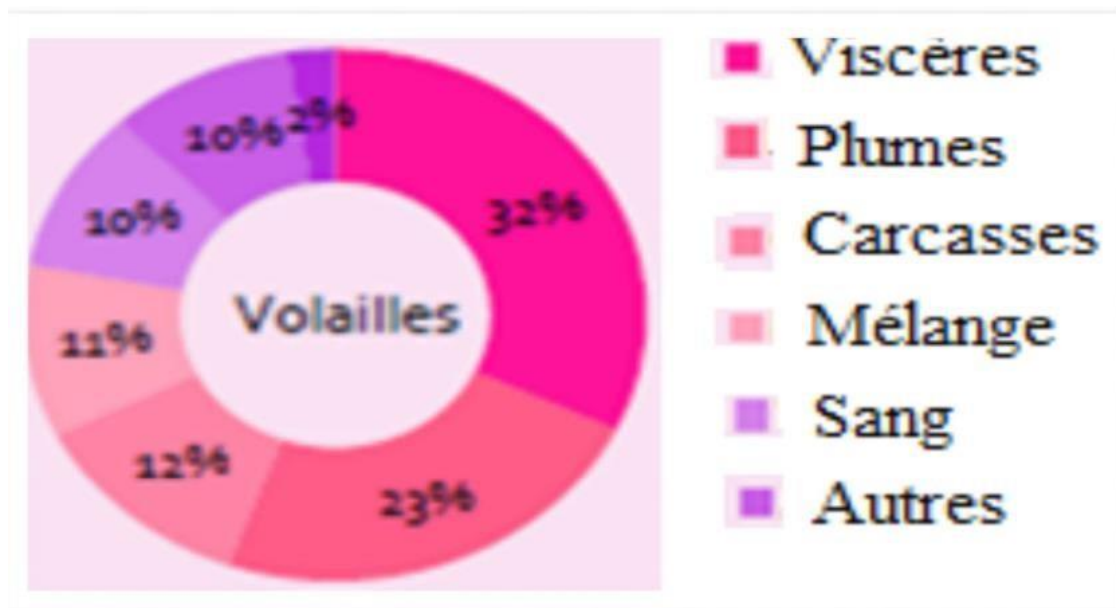


Figure II.1 : Répartition (en %) des différents déchets issus de l'abattage des volailles

II.2. Contexte législatif

Les textes réglementaires régissant les déchets d'abattoir en Algérie sont les suivants :

- a) Décret exécutif n°06 -104 du 28 février 2006 fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux, qui en son article 2 classe systématiquement les déchets comme suit :
1. Chaque déchet est désigné par un code de sécurité :
 - Le premier chiffre représente la catégorie qui retrace le secteur d'activité ou le procédé dont le déchet est issu,
 - Le second chiffre représente la section qui retrace l'origine ou la nature du déchet appartenant à la catégorie,
 - Le troisième chiffre représente la rubrique qui retrace la désignation du déchet. 2. L'identification à la classe de déchets à laquelle appartient le déchet concerné, déchets ménagers et assimilés (MA), inertes (I), spéciaux (S) et spéciaux dangereux (SD).
 3. L'indication de la dangerosité du déchet spécial dangereux concerné selon les critères fixés à l'annexe I du décret sus cité.

Au sens dudit décret, les déchets d'activités d'abattage des animaux sont classés dans la catégorie 2.2 "déchets provenant de la préparation et de la transformation de la viande et des poissons".

- b) Décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006, le présent décret a pour objectif de fixer les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels et de clarifier les modalités de traitements pour les entreprises.

II.3. Déchets générés par les abattoirs de volailles

La transformation d'un animal vivant en carcasse destinée à l'alimentation humaine génère à la fois des produits nobles (viande) et des déchets dits d'abattoir.

Ces derniers peuvent être répartis en trois catégories :

- Déchets solides
- Rejets liquides
- Boues

Dans ce travail, nous nous intéressons seulement aux déchets solides issus d'un abattoir avicole de la région centre

II.4. Quantités de déchets solides générés par les abattoirs de volailles

Les déchets des abattoirs de volailles sont produits en fonction du nombre d'individus abattus. Le bilan quantitatif de ces déchets est évalué sur la base du ratio par tonne de viande par an et par sujet.

En effet, la quantité de ces déchets est ahurissante selon de nombreuses études et ce, pour différentes raisons :

- Les humains ne consomment qu'une portion des animaux destinés à l'alimentation.

Elle est de 68% dans le cas du poulet de chair (**Tableau II.3**), le reste (volume important) se transforme alors en déchets, qui n'est pas toujours totalement valorisé [33].

Tableau II.3 : Proportion moyenne d'une carcasse comparée des différentes viandes

Poulet	Bœuf	Porc	Mouton
68%	54%	62%	52%

- Les abattoirs sont de forts consommateurs d'eau, donc grands générateurs de rejets liquides qui sont représentés par l'eau souillée et le sang qui proviennent directement de l'animal. Ce volume varie évidemment selon que l'abattoir soit polyvalent ou mono espèce. [34].

Dans les abattoirs de volaille, le transport à sec des plumes et des viscères par un système pneumatique permet de diminuer le volume, diminuant ainsi la production d'eau usée [35].

II.5. Modes de gestion actuels des déchets d'abattoirs avicoles

Autrefois, les déchets d'abattoirs avicoles étaient directement déversés dans les sites d'enfouissement.

Le détournement de ces déchets de ces sites est donc justifié pour plus d'une raison:

- a) Soulager les zones de stockage, limiter les sources de pollution des sites d'enfouissement, protéger la population et la biodiversité [36].
- b) Ils représentent une source de matière organique de grande valeur nutritionnelle pouvant être utilisée en alimentation animale et en agriculture [37].

Actuellement, l'Algérie connaît un développement considérable, particulièrement en termes de production du poulet de chair à l'échelle industrielle.

Il en découle que la quantité de déchets générée connaît aussi une augmentation proportionnelle.

Selon [38], cette industrie figure de nos jours parmi les plus polluantes. Ainsi, les solutions pour la gestion, le traitement et la valorisation représentent un enjeu majeur, immédiat et sérieux.

II.5.1. Quelle gestion durable des déchets d'abattoirs avicoles ?

L'établissement d'un plan de gestion est un facteur important. Il consiste à respecter les principes du développement durable et à suivre une succession de phases, à savoir :

- Le tri à la source
- La collecte sélective
- Le traitement approprié des déchets

L'objectif ultime de cette gestion est de réduire les contaminations, l'atteinte à l'environnement, tout en maintenant la salubrité du poulet.

II.5.1.1. Le tri à la source

Il consiste à séparer les déchets d'abattage par catégories lors du processus de production via une récupération distincte afin de rendre leur valorisation (lorsqu'elle est possible) plus facile d'une part, et minimiser l'élimination (déchets ultimes) d'autre part.

II.5.1.2. La collecte

Il s'agit d'une étape très importante dans la gestion de ces déchets. Elle consiste à les récupérer et les transférer vers un système de transport approprié ou un espace réservé à cet effet. Le but étant de les stocker temporairement pour un éventuel traitement choisi.

II.5.1.3. Le traitement

Le traitement des déchets d'abattoir est un domaine assez vaste, dans lequel ils deviennent soit un coproduit ou un sous-produit via un système de valorisation qui permet. Dans le cas où le déchet n'est pas valorisable (contaminé par exemple), ce dernier doit être vu comme une nuisance.

La filière des déchets doit donc être considérée comme une activité économique [39].

II.5.2. Traitement des déchets d'abattoirs avicoles

Comme préalablement expliqué, le traitement des déchets passe soit par leur valorisation lorsqu'elle est possible ou par leur élimination. Les technologies existantes en terme de valorisation des déchets d'abattoir avicoles sont diverses.

II.5.2.1. Valorisation

On entend par valorisation toute transformation de résidus ou de sous-produits industriels alimentaires en vue de les réintroduire sur le marché à titre de nouveaux ingrédients ou comme nouveaux produits. Le processus général de la valorisation est représenté par **Figure II.2**.

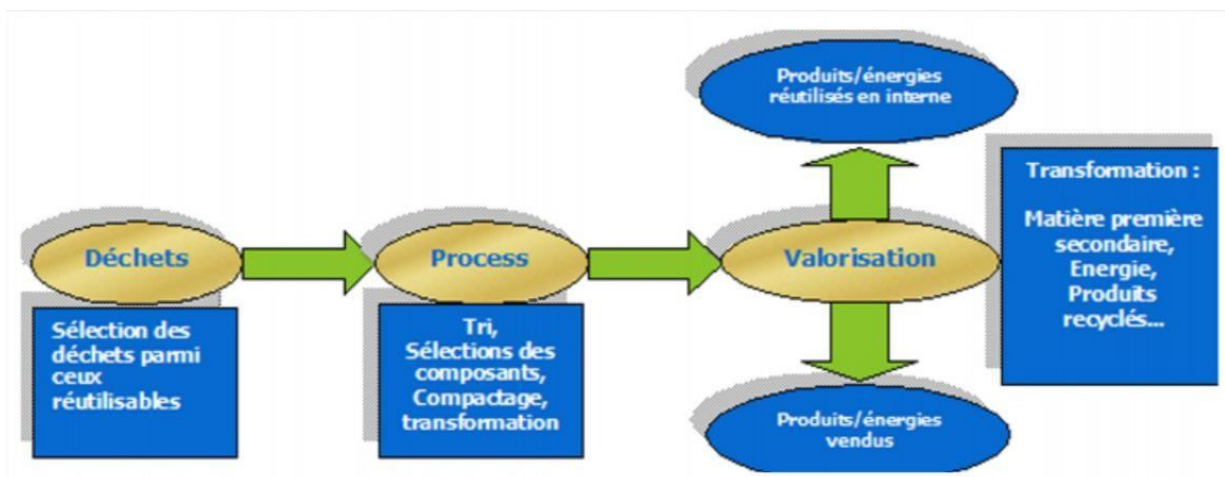


Figure II.2 : Processus de valorisation des déchets [38]

Figure II.2 illustre de manière générale l'évolution et la destinée d'un déchet depuis sa génération jusqu'à sa valorisation. Cette dernière, peut aboutir à un produit qui sera introduit dans la chaîne de fabrication ou être vendu comme matière première pour une éventuelle production.

II.5.2.2. Procédés de valorisation des déchets d'abattoirs avicoles

Dans les abattoirs de volailles, les déchets sont représentés par différentes parties constitutives du poulet à proportions inégales, représentées dans **Tableau II.4** [40].

Ces parties non directement exploitables sont alors valorisées dans le but de limiter le gaspillage, réduire la pollution de l'environnement et supprimer les coûts souvent très élevés de l'élimination. Ceci pourrait donc constituer un poste clé pour l'équilibre financier des abattoirs. Les technologies existantes à cet effet sont diverses et dépendent du produit à valoriser (Moleta, 2006). **Tableau II.4** Donne un aperçu des % des parties du poulet pouvant rejoindre la « filière » déchet.

Tableau II.4: Les différentes parties éliminées du poulet en % [40]

	% du poids vif
Plumes	4,5
Têtes	6
Pattes	2,7
Os	17

II.6. Déchets de volailles :

Actuellement, l'Algérie connaît un développement considérable, particulièrement en termes de production du poulet de chair à l'échelle industrielle. Il en découle que la quantité de déchets générée connaît aussi une augmentation proportionnelle. En effet, la viande destinée à la consommation humaine ne représente que 70% à 78% de chaque poulet, alors que le reste devient des déchets [38].

Cette industrie figure de nos jours parmi les plus polluantes. Ainsi, les solutions pour la gestion, le traitement et la valorisation représentent un enjeu majeur, immédiat et sérieux [39].

II.7. Les plumes de volailles :

Les plumes de volailles représentent entre 4,5 et 6,2% en poids vif de l'animal. Elles sont classées selon la nomenclature française dans la catégorie de déchets non dangereux [40].

Elles assurent l'isolation et l'imperméabilité chez les volailles, elles permettent également à la plupart des oiseaux de voler en formant des surfaces qui donnent un élément aérodynamique dans le rôle est de soulever les ailes et la queue. La forme du corps profilée réduit la résistance de l'air pendant le vol. Chez les oiseaux aquatiques, le plumage assure la flottabilité. Par ailleurs, la couleur du plumage peut fournir un camouflage ou des motifs utilisés à des fins sexuelles ou des affichages agressifs. Cette dernière peut résulter de deux manières : Soit par la présence des pigments (mélanines, caroténoïdes ou porphyrines), soit la structure de la plume fournit une couleur irisée ou non irisée. L'étude de la morphologie et les propriétés chimiques, physiques, thermiques, mécaniques et électriques ainsi que l'analyse biochimique des plumes peuvent nous orienter vers les méthodes adéquates pour leur exploitation comme étant une source de kératine (41) (42).

II.7.1. Morphologie de la plume :

Les plumes sont des arrangements non homogènes d'une structure tégumentaire la plus complexe trouvée chez les vertébrés, avec des motifs de ramification hiérarchiques, ce qui leur confère une immense diversité.

La plume est formée d'un axe longitudinal inséré dans un follicule par un segment basale tubulaire appelé calamus qui est cylindrique, transparent et creux. Le Calamus contient deux ouvertures : l'ombilic supérieur qui représente l'intersection entre le rachis et le calamus et l'ombilic inférieur à travers lequel la plume est nourrie pendant sa croissance. L'autre partie est le rachis, un élément central de la plume qui est situé en avant, et selon le type de plume, il est de section circulaire à rectangulaire qui se rétrécit vers la pointe de la plume.

Contrairement au calamus, le rachis n'est pas creux, mais rempli d'une moelle spongieuse composée de grandes cellules médullaires polygones, et consiste en une alternance de couches de fibres orientées de façon opposée.

Le noyau médullaire, fabriqué à partir de kératine, montre deux niveaux de porosité, ce qui minimise le poids des plumes, notamment parce qu'il occupe une grande partie du volume du rachis. En outre, le rachis est rempli de substances mortes, de pigments et de protéines, et sa base inférieure peut comporter une plume secondaire, appelée hyporachis.

Dans les marges latérales du rachis pousse le vexille, une structure comme une lame divisée en deux parties opposées. C'est le corps visible couvrant la plus grande zone de la plume formée par un réseau compliqué de crochets entrelacés appelées les barbicelles. Ces dernières proviennent du côté aplatis du rachis et grandissent en rangées ordonnées parallèles opposées les unes aux autres et dirigées vers l'extérieur et vers le bout de la plume et ont pour rôle de relier les barbules les unes aux autres, emboîtant ainsi les barbes qui représentent l'unité principale de ramification des plumes et qui sont généralement en série alignée fusionnée dans le rachis d'une structure en forme de feuilles ou de pales et d'une morphologie caractérisée par une coupe transversale légèrement ovoïde.

Selon le type et la taille de la plume, les barbes pouvant être rigides ou flexibles et leur nombre peut varier de quelques dizaines de barbes à plusieurs centaines. Le rachis et les barbes sont des structures biologiques légères construites en kératine, utilisant le motif commun d'une coque solide et d'un intérieur cellulaire

Chaque barbule est essentiellement une tige de cellules uniques. Basé sur le type de la plume, la morphologie des barbules peut être hautement spécialisée d'où la forme change en fonction de la partie où elles poussent. De plus, la direction ascendante dépend également de la distance sur la surface des barbes : les barbules sur le bord supérieur s'étendent perpendiculairement à l'extérieur du barbillon, mais les barbules sur le bord inférieur se produisent plus parallèlement au barbillon

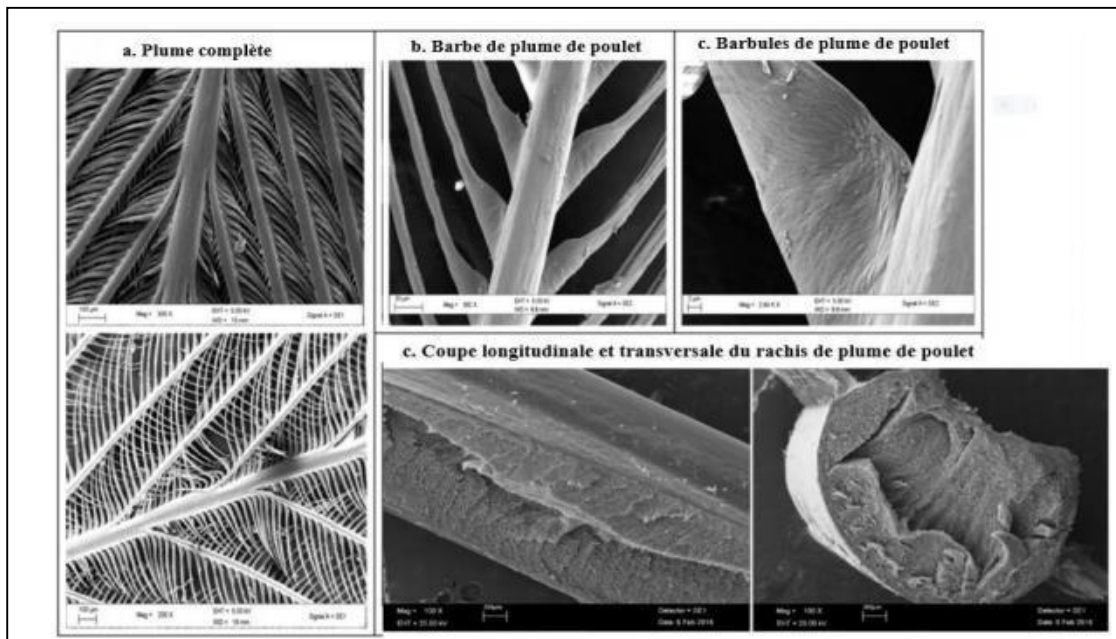


Figure II.3 : Images d'analyse par le Microscopie électronique à balayage (MEB) de la plume de poulet [38]

II.7.2. Types de plumes :

Au niveau macroscopique, les plumes des oiseaux varient considérablement en morphologie. On distingue deux types : les filaments, et les plumes.

- Les filaments comprennent trois sous-types :
 - **Les plumes sétiformes ou soies** : caractérisées par un rachis raide et long, afin de protéger les yeux et le visage, les barbes sont courtes et raides, et réduites en nombre. Elles sont peu couvertes de barbules, qui sont simplifiés et rigides. Le Calamus est court.
 - **Filoplumes** : Elles ont un rachis minuscule et raide, portant quelques barbes apicales, qui ont de courtes barbules non spécialisées. Un Calamus court est développé à l'extrémité proximale. Elles ont une fonction sensorielle.
 - **Le duvet** : Leur rachis est très court portant ~ 10–30 ramifications latérales de longues barbes, chacune porte une double rangée de barbules sans crochets, ainsi le Calamus est court. Leur rôle est l'isolation thermique du corps (thermorégulation) et sert comme un revêtement corporel pour les oiseaux nouveau-nés.
- Les quatre sous-types de plumes ont tous un axe central, le rachis en forme de plume et des barbes ramifiées latéralement. Le rachis est inséré du côté dorsal du Calamus, parfois associé à un hypo rachis supplémentaire et ventral. Les plumes pennées comprennent :
 - **Des semi-plumes** : Ses barbes composées de rameaux de rachis central, d'où les barbules manquent de crochets, résultant un vexille ouvert et duveteux. Leur rôle est l'isolation thermique.
 - **Plumes de contour** : Se compose d'un rachis central, des barbes et des barbules qui ont des crochets, formant un vexille fermé qui fournit une couverture profilée au corps.

- Les plumes caudales ou rétractées : Similaires aux plumes de contour, peuvent se déployer pour le contrôle de vol ou l'affichage.
- Les plumes des ailes ou rémiges : Forment une solide structure alaire pour un vol propulsé. Pour remplir leur fonction aérodynamique, les barbes des rémiges et des rectrices sont plus rigides et possèdent des barbules pennées entraînant un vexille fermé, duveteux proximales d'où l'hypo rachis est réduit ou absent. Cependant le Calamus est allongé et profondément ancré dans la peau. [33].

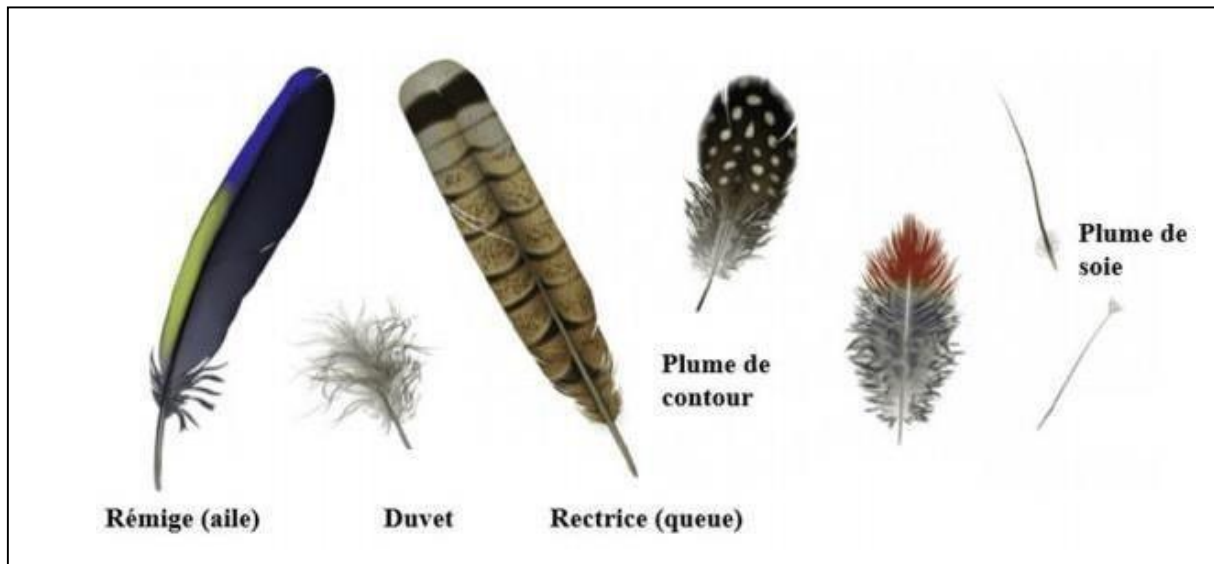


Figure II.4 : Les sept types de plumes rencontrées chez les oiseaux [33].

II.7.3. Propriétés des plumes

II.7.3.1. Analyses biochimiques

a) Matière volatile

La matière volatile se compose des gaz combustibles comme le méthane, les hydrocarbures, l'hydrogène et le monoxyde de carbone ainsi que des gaz incombustibles comme le dioxyde de carbone et l'azote. Le contenu volatil moyen des plumes est très élevé (81,56%), cela indique que les plumes ont un bon point d'inflammation, éliminant la demande excessive d'oxygène pour un processus de combustion complet d'où la demande chimique en oxygène varie de 1200 à 1408g/kg.

b) Les cendres

La cendre est une impureté qui ne brûle pas, et est une mesure approximative des sels minéraux et de matières inorganiques dans les plumes.

La faible teneur en cendres des échantillons de plumes (inférieur à 1,5%) indique qu'elles pourraient être utilisées comme combustible.

c) Carbone fixe

Le carbone fixe est le combustible solide restant dans le four après la distillation de la matière volatile. Il se compose principalement de carbone mais contient également de l'hydrogène, de l'oxygène, du soufre et de l'azote non chassé avec les gaz, et donne une estimation approximative de la valeur calorifique de la biomasse. Les plumes contiennent des quantités importantes de carbone fixe (17–21%).

d) Teneur en humidité

La teneur en humidité dans les fractions des plumes de poulet varie entre 8,8 et 12,3%, impliquant ainsi que les plumes de poulet peuvent absorber suffisamment d'eau pour éviter l'accumulation d'électricité statique.

e) Protéines brutes

Ceci a été déterminé en mesurant la teneur en azote des plumes et en le multipliant par un facteur (C) (= 6,25). Ce facteur est basé sur le fait que la plupart des protéines contiennent 16% d'azote. Le taux de protéines était déterminé en utilisant une méthode de digestion Kjeldahl

Les plumes peuvent être valorisées comme une bonne source de matière protéique avec une teneur en protéine à 80%.

f) Matières grasses brutes

C'est une estimation de la teneur totale en matières grasses, y compris la graisse réelle (triglycérides), l'alcool, les cires, les terpènes, les stéroïdes, les pigments, les esters, les aldéhydes et d'autres lipides. Une teneur importante en matière grasse dans les plumes (environ 3%) indique une voie potentielle de valorisation de ces dernières pour la production de biodiesel.

g) Fibres brutes

Les plumes contiennent des quantités négligeables de fibres brutes : Ce qui s'explique par le fait que la biomasse des plumes, contrairement à la biomasse cellulosique, ne contient pas de cellulose, d'hémicellulose et de lignine.

h) Durabilité chimique

Dans le domaine de la durabilité des plumes, leur réaction à différents produits chimiques est un aspect crucial à considérer. Voici une analyse de leur durabilité chimique dans divers environnements :

➤ Solutions alcalines :

Lorsque les plumes sont exposées à des solutions alcalines, à la fois fortes et faibles, elles se dissolvent rapidement et complètement. En conséquence, les plumes se révèlent être instables dans des environnements fortement alcalins.

➤ Solutions acides :

Les plumes montrent une bonne résistance aux acides faibles, mais une mauvaise résistance aux acides forts. En présence d'acides forts, les plumes se dissolvent complètement, entraînant des pertes de poids significatives et des dommages

➤ Autres produits chimiques :

- L'eau de Javel et les détergents, étant moins alcalins ou acides, peuvent être utilisés en toute sécurité sur les plumes. Leur utilisation n'a qu'un faible effet sur la structure et la ténacité des plumes.
- Les solutions oxydantes telles que l'hypochlorite de sodium doivent être utilisées froides et diluées, et uniquement pour de courtes périodes, afin d'éviter des dommages excessifs aux plumes.
- Le trempage des plumes dans de l'eau chaude permet d'éliminer certains composants

indésirables tels que les composés inorganiques, le sable, les gommages et les matières colorantes. [33].

i) propriétés mécaniques :

La propriété de traction donne une idée sur la résistance de la plume et son allongement. La partie externe du corps de poulet produit les fibres les plus résistantes tandis que la partie intérieure produit les fibres les plus faibles.

La résistance de la fibre à l'état humide est inférieure à celle de la fibre à l'état sèche. Néanmoins l'allongement à la rupture est plus élevé lorsque la fibre est à l'état humide.

La résistance et l'allongement des barbes des plumes de poulet sont similaires à celles de la laine. Cependant leur force est semblable à celle de la laine et supérieur à celle de la fibre de coton mais inférieur à celle du rachis avec un allongement plus faible à la rupture.

II.7.3.2. Valorisation des plumes de volaille :

Les plumes de volailles représentent entre 4,5 et 6,2% en poids vif de l'animal. Elles sont classées selon la nomenclature française dans la catégorie de déchets non dangereux.

En Algérie, les quantités de plumes (poids humide) annuelles provenant de l'abattage d'oiseaux terrestres représentent plus de 250 000 tonnes, soit l'équivalent de 75 000 tonnes par an de plumes sèches.

Les plumes ont longtemps été considérées comme un déchet dont la destination principale est la destruction par incinération. Ceci engendre un inconvénient écologique, par une dépendance importante d'énergie, une libération de CO₂ et autres gaz indésirables.

Actuellement, il existe diverses techniques de valorisation des plumes :

a. Valorisation énergétique

L'un des principaux débouchés des déchets de plumes issus de l'abattage de la volaille est la transformation en farines de plumes hydrolysées. Ces dernières sont utilisées en alimentation animale.

Selon (38), cette opération d'hydrolyse peut se réaliser de deux manières :

- Cuisson sous pression à 130° C en 2 heures et 30 minutes ou à 145° C en 30 minutes,
- Suivie d'un séchage et un tamisage permettant d'obtenir une farine.

b. Etude prospective descriptive

L'étude descriptive a pour but d'évaluer les diverses variables de notre population : les quantités moyennes de déchets produites par poulet, les pourcentages de ces derniers, les quantités annuelles moyennes estimées de déchets produites par poulet.

➤ Quantités moyennes de déchets produits par poulet

Figure II.4 représente les quantités moyennes de déchets issus de l'abatage d'un poulet de chair.

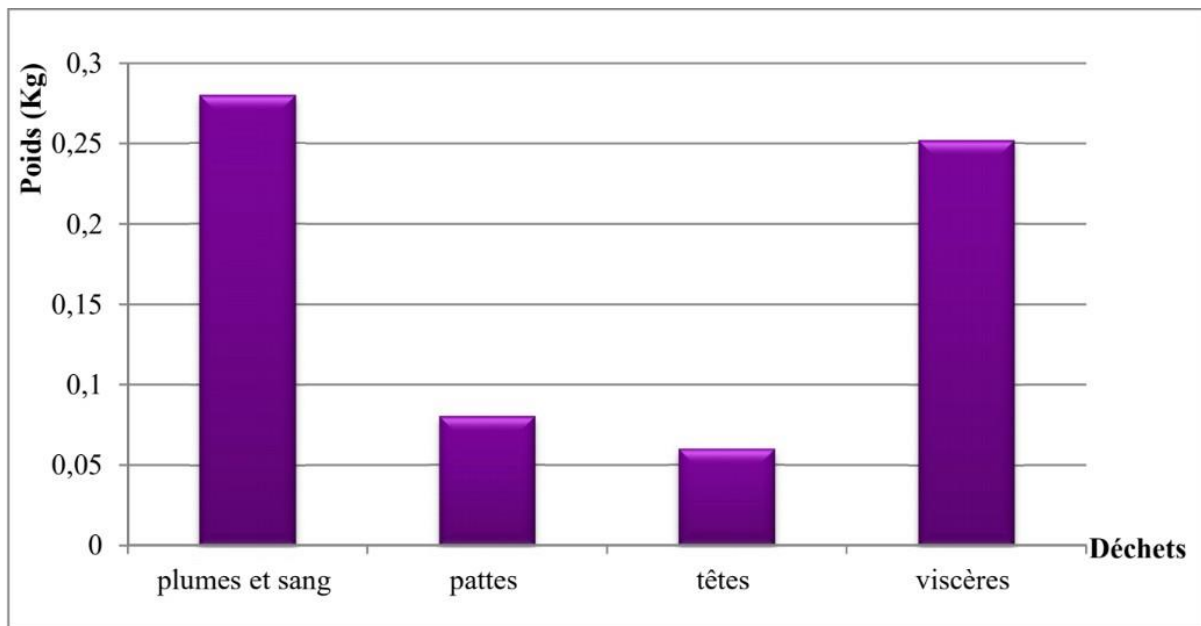


Figure II.5 : Quantités moyennes des différents déchets d'un poulet.

Dans notre série, nous avons noté une prédominance de la quantité de plumes et de sang avec un poids de 0,28 Kg. Directement suivie par la quantité de viscères déduite par calcul qui est de 0,25 Kg. Les pattes représentent un peu plus d'un tiers de cette quantité avec un poids de 0,08 Kg, directement suivies par les têtes dont le poids est de 0,06 Kg.

CHAPITRE III

Programme expérimental

III. CHAPITRE III : Programme expérimental

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux utilisés dans cette étude, ainsi que leurs caractéristiques et on présente les calculs de formulation de notre mortier et d'écrit les différents modes opératoires des essais destructives (compression, flexion).

Les matériaux utilisés sont :

Le ciment

Les adjuvants : « MEDAFLOW 30 » super plastifiant)

Les ajouts : poudre de plumes poulet

Eau de gâchage

Le sable d'Oued Souf (Djamaa).

Les matériaux utilisés dans notre étude sont des matériaux locaux, nous avons effectué des études expérimentales sur leurs caractéristiques au niveau du laboratoire de Génie Civil à l'Université Mohamed Boudiaf - M'sila.

III.1.1. Ciment : CEM I42.5R (Ciment Portland NA 442/2013):

Un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise. (Fiche Tech ciment Gica).

Tableau III.1 : Analyse chimique ciment

Analyse chimique	Min	Max
SiO₂	22.80	32.00
AL₂O₃	5.20	6.20
Fe₂O₃	3.20	3.60
CAO	52.00	62.00
MgO	1.02	1.20
K₂O	0.35	0.45
Na₂O	0.40	0.50
SO₃	1.80	2.20
PF	2.00	2.80
CL	0.03	0.45
Ri	6.00	12.00
Caol	0.40	1.54

Tableau III.2 : caractéristiques physico-mécaniques

Essai physico-Mécanique	Min	Max	Norme
Ss Blaine cm/g	2960	4200	-
Consistance%	25.5	26.8	-
Début de prise	80	160	≥60mn
Compression 02j	12.5	23	>10.0
Compression 07j	25	36	-
Compression 28j	43	52	≥42.5
Expansion	0	8.5	>10mn

Tableau III.3 : Les constituants de ciment en %

Les Constituants de Ciment en%	
Clinker	80-88
Pouzzolane+Calcaire	12-20
Régulateur de prise(Gypse)	00-05



Figure III. 1 : ciment utilisé

III.1.2. Sable :

Le sable de base de notre recherche provient de sabords d'Oued Souf (DJAMAA).

III.1.2.1. Caractéristiques de sable :

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

a) Masse spécifique (absolue) : NFP18-555

La masse volumique absolue du sable est calculé d'après la formule :

$$\rho_{\text{abs}} = M / (V_2 - V_1)$$

Tableau III.4 : Résultats de la masse volumique absolue

Matériaux	Sable (M = 120g)		
V1 (cm ³)	150	150	150
V2 (cm ³)	195	198	198
V2-V1 (cm ³)	45	48	48
ρ (g/cm ³)	2.666	2.5	2.5
Moyenne	2.555		

- ✓ **M** : masse du sable.
- ✓ **V1** : volume d'eau.
- ✓ **V2** : volume d'eau + sable.

b) Masse volumique apparent (NF P 18-554)

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire de la Volume constitué par la matière du corps et le vide qu'elle contient. Il est donné par la relation suivant :

$$\rho_{\text{app}} = (M_2 - M_1) / V$$

- ✓ **V** = 900cm³ = 0.9 L.
- ✓ **M1** : Masse du récipient à vide.
- ✓ **M2** : Le poids de l'ensemble (sable+ récipient).

Tableau III.5 : La masse volumique apparente à l'état l'ache

Matériaux	V=900 (cm ³)		
M1	115	115	115
M2	1290	1310	1301
M2-M1	1175	1195	1186
ρ (kg/m ³)	1.305	1.327	1.317
Moyenne	1.31		

Tableau III.6 : La masse volumique apparente à l'état compact

Matériaux	V=900 (cm ³)		
M1	115	115	115
M2	1355	1360	1370
M2-M1	1240	1245	1255
ρ (kg/m ³)	1.377	1.388	1.394
Moyenne	1.38		

c) Porosité : NFP18-554

C'est le volume du vide s'entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivante :

$$P (\%) = 1 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) * 100$$

$$P\% = \left[1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] * 100$$

d) Compacité

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide que le constitue, c'est dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

$$C = (\rho_{app} / \rho_{abs}) = 100 - P$$

e) L'indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide avec une pourcent (%).

$$E (\%) = \frac{V_v}{V_s} = \frac{P}{(100 - P)}$$

✓ V_v : volume du vide

✓ V_s : volume du solide

Tableau III.7 : Porosité, compacité et l'indice des vides

Porosité P(%)		Compacité C(%)		L'indice des vides E(%)	
l'ache	compact	l'ache	compact	l'ache	compact
48.41	45.94	51.59	54.06	0.93	0.84

f) Equivalent de sable [NF EN 933-8]

Nous essai permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et mortiers.

Mode opératoire :

- ✓ Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g)
- ✓ Prendre une pesée de 120 g
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère (10cm)
- ✓ A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper Fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10 minutes
- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution le van t'atteigne le 2èmerepère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

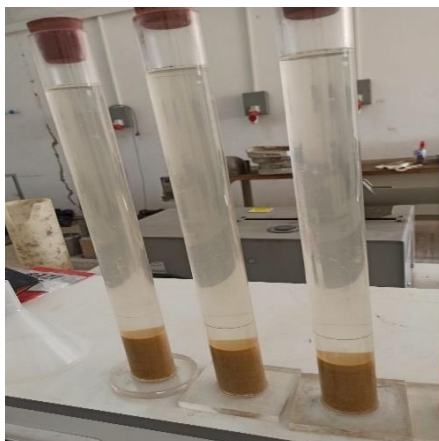


Figure III. 2 : Mesure de l'équivalent de sable

i. Equivalent de sable visuel (ESV) :

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

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

✓ $h_2 < h_1$

✓ h_1 : sable propre + éléments fins

ii. Equivalent de sable au piston (ESP)

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette. Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit h_2' la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$E.S.P = \frac{h_2'}{h_1} * 100(\%)$$

✓ h_2 : La hauteur du sable ($h_2 < h_1$)

Les résultats sont regroupés sur le tableau suivant :

Tableau III.8: Les résultats d'équivalent du sable de Djamaa

Essais	h_1 (cm)	h_2 (cm)	E.S.V (%)	h_2' (cm)	E.S.P (%)
1	6.6	5.7	86.36	5.7	86.36
2	6.6	5.7	86.36	5.6	84.84
3	6.6	5.7	86.36	5.7	86.36

✓ h_1 : hauteur du sable plus tube.

✓ h_2 : hauteur du sable.

✓ h_2' : hauteur du sable avec piston.

$E.S.V_{moy} = 86.36\%$

$E.S.P_{moy} = 85.85\%$

➤ Pour le sable de Djamaa : C'est une **Sable très propre**

g) Analyse granulométrique : NFP18-304.NFP18-560**1) But de l'essai**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers.

2) Principe de l'essai

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des graines s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

3) Matériel nécessaire :

- ✓ Prélever (2kg) de matériau (sable sec).
- ✓ Une machine à tamiser
- ✓ Une série de tamis normalisé
- ✓ Un couver clé qui évite la perte de matériau pendant le tamis ageet un réceptacle de fond
- ✓ Pour recueillir le dernier tamisât
- ✓ Des récipients sen plastique
- ✓ Une main écope pour le remplissage
- ✓ Unebalancedeportée5kg, précision1g

4) Mode opératoire :

- ✓ Prélever (2kg) de matériau (sable sec)
- ✓ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit M_i la masse du tamis
- ✓ Constituant une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08mm. 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 quel fond.
- ✓ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique. Agiter pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- ✓ Peserchaquetamisséparémentà 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 les i ème tamis à R , soit R_2 la masse du refus cumulé Du tamis 2 ($R_2=R_1+R_e$ fus partiel sur tamis)

- ✓ Pour suivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des
- ✓ Différents Refus cumulés R3, R4, ...

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante : $T=100-R_c$

Où :

T : Tamisât en %

R_c: Refus cumulé sen%



Figure III.4 : Une machine à tamiser.

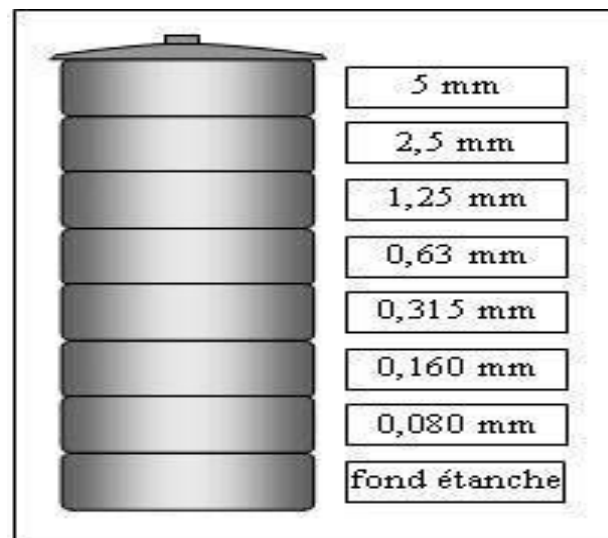


Figure III.5: Colonne de tamis.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau III.9: Les résultats d'analyse granulométrique du sable de Djamaa

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	%	
5	0	0	0	100
2.5	0	0	0	100
1.25	101	101	5.05	94.95
0.63	745	846	42.3	57.7
0.315	726	1572	78.6	21.4
0.16	356	1928	96.4	3.6
0.08	76	1956	97.8	2.2
Fond	6	2000	100	0

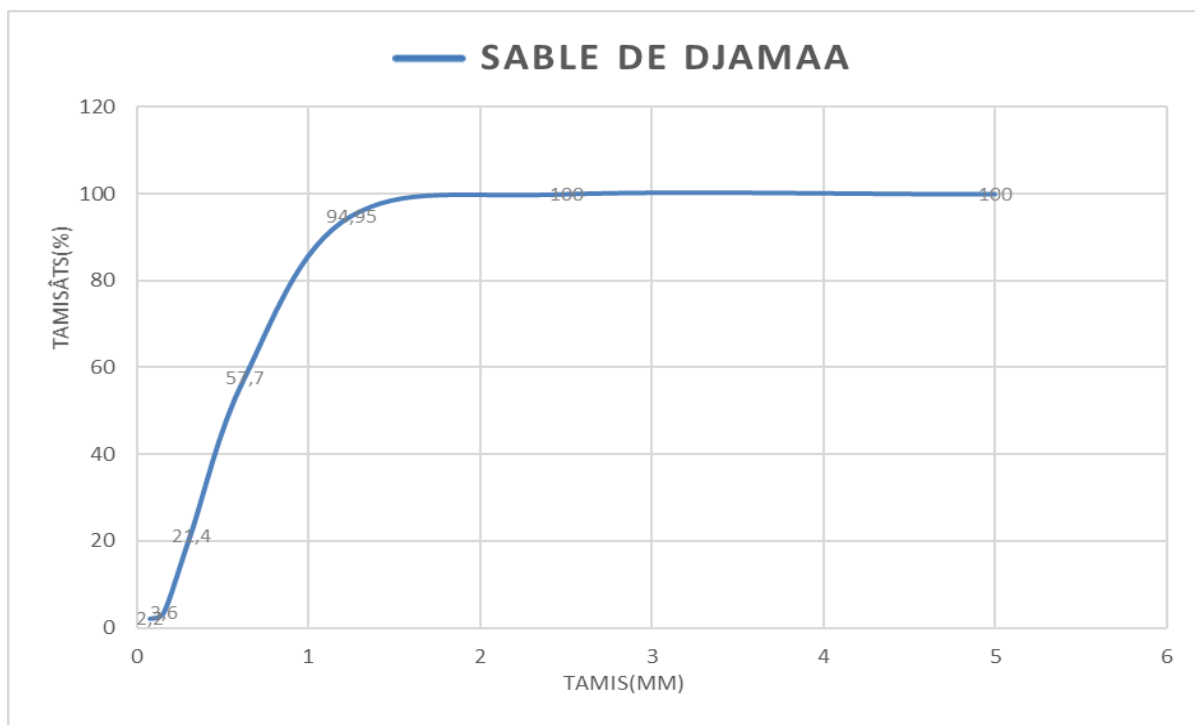


Figure III.6: La courbe granulométrique du sable

5) Module de finesse :

Le module de finesse(MF) est un facteur très important, qui nous perm et de juger la grosseur du sable (qualité du sable), il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100. Il est donné par la relation suivante :

Le module de finesse d'un granulat est donné par la relation suivante :

$$MF = \frac{\sum \text{refus cumulée } \%}{100}$$

Selon la norme AFNOR :

- ✓ Le sable préférentiel ($2,20 < MF < 2,80$)
- ✓ Le sable un peu trop fin ($1,80 < MF < 2,20$)
- ✓ Le sable un peu trop grossier ($2,80 < MF < 3,20$).

Pour le sable de Djamaa : $MF = 2.22$

Donc, c'est un **sable préférentiel**

6) Teneur en eau [NF P 18-555]

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sable étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 300 grammes de sable sec.

Les résultats obtenus en **Tableau III.10** que :

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

- ✓ **M_h**: Masse des granulats humides.
- ✓ **M_s**: Masse des granulats secs.

Tableau III.10: Teneur en eau de sable utilisé

Essais	M _h (g)	M _s (g)	W(%)	W _{moy} (%)
1	300	299.8	0.0667	4.3907
2	300	293.9	2.075	
3	300	293.4	2.249	

III.1.3. Adjuvant :

- Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de poly carboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Plage de dosage recommandée : 0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
- Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
- Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet retardateur.

Tableau III.11: Caractéristiques du MEDAFLOW 30

Super plastifiant	Masse moléculaire Moyenne en nombre	Masse moléculaire Moyenne en masse	Indice de polydispersité
MEDAFLOW 30	44700	58714	1,31

III.1.3.1. Propriétés :

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :

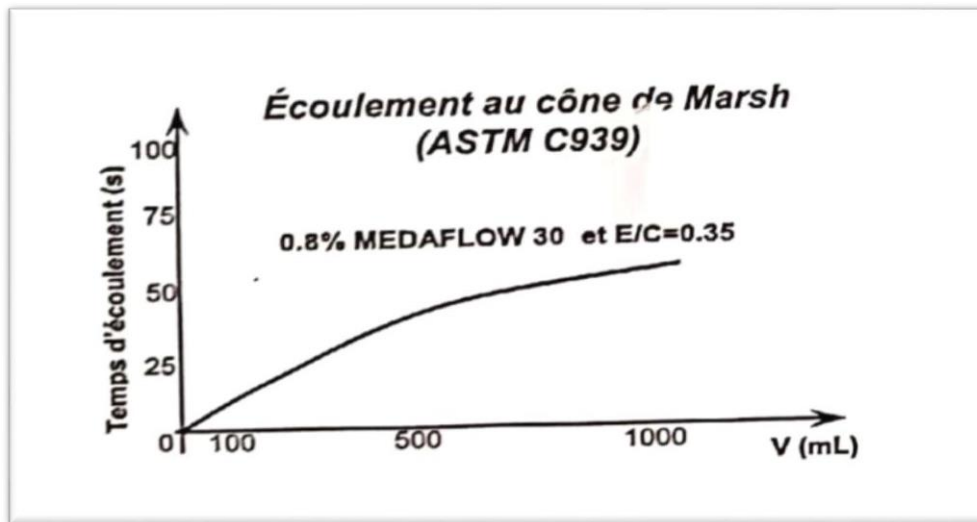


Figure III.7: Evolution du temps d'écoulement en fonction du volume du MEDAFLOW

Sur le béton frais il permet :

Tableau III.12: Masse molaire du super plastifiant

Forme	Couleur	P-H	Densité	Teneur en chlore.	Extrait sec
Liquide	Jaunâtre	6 – 6,5	1,07 ± 0,01	< 1g/l	30%

- ✓ L'obtention d'un E/C très faible
- ✓ L'amélioration considérable de la fluidité
- ✓ Une très bonne maniabilité
- ✓ Un long maintien d'ouvrabilité
- ✓ D'éviter la ségrégation
- ✓ De faciliter la mise en œuvre du béton.

Sur béton durci :

- ✓ Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau)

- ✓ Diminuer la porosité
- ✓ Augmenter la durabilité
- ✓ Diminuer le retrait et le risque de fissuration

III.1.3.2. Domaine d'application :

- ✓ Béton à haute performance.
- ✓ Béton auto plaçant.
- ✓ Béton pompé.
- ✓ Béton précontraint.
- ✓ Béton architecturant.

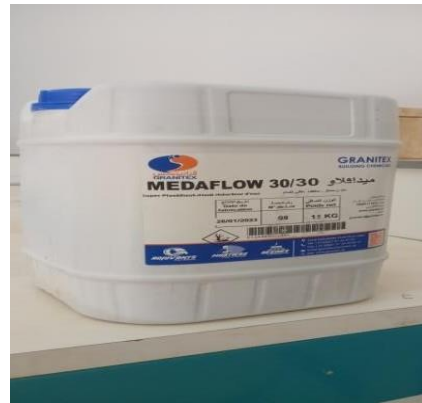


Figure III.6.I: Super plastifiant utilisé dans notre étude.

III.1.4. Poudre de plumes poulet :

Étapes de la préparation de plume :

- a. **Collecte des plumes** : Les plumes sont rassemblées à partir d'un abattoir situé dans la région de M'sila.



Figure III.9 : Les plumes collectées

- b. **Lavage des plumes :** Les plumes sont lavées plusieurs fois avec de l'eau courante pour éliminer la saleté et les particules indésirables.



Figure III. 10 : Lavage

- c. **Rinçage à l'eau distillée et séchage :** Après le lavage, les plumes sont soigneusement rincées à l'eau distillée pour éliminer tout résidu ou produit chimique, puis elles sont disposées pendant 2 à 3 jours pour éliminer toute humidité restante et les préparer à être transformées en poudre.



Figure III. 11 : Séchage

- ✓ Les plumes séchées subissent un deuxième séchage dans une étuve chauffée à 170 °C pendant 2h puis découpées en petits morceaux à l'aide d'un ciseau.



Figure III.12 : Sécher les plumes

- ✓ Broyer à l'aide d'un broyeur et tamiser pour éliminer les grosses particules et avoir une farine homogène de diamètre 80 micro mètre.
- ✓ Les premières études sur le dosage des antibiotiques dans les plumes prédécoupaient les plumes avant de les broyer au mortier

Au fil des années, de nouvelles technologies ont été développées permettant de faciliter le broyage de matrice complexe, notamment des plumes. Par exemple, le broyeur à billes permet de broyer, mélanger et homogénéiser les matrices solides introduites dans des enceintes (bols de broyage) en une fine poudre de l'ordre de 80 μm . Les enceintes de broyage, contenant l'échantillon solide ainsi que des billes de broyage, sont mises en mouvement sur le plan horizontal par les vibrations en forme d'arc de cercle des enceintes que produit l'instrument. Le broyage de l'échantillon a lieu sous l'impact des billes sur l'échantillon contre les parois des enceintes de broyage.

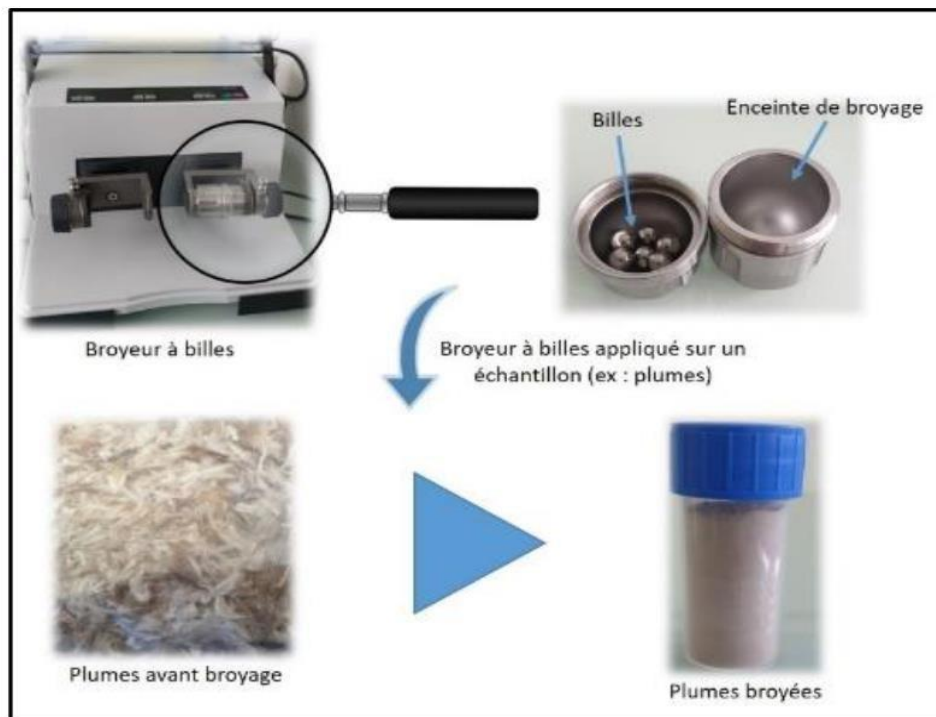


Figure III.13 : Principe du broyeur à billes MM 400



Figure III. 14 : Farine des plumes

Tableau III. 13 : Gamme typique d'analyses approximatives des caractéristiques de la farine de plume hydrolysée ainsi que la composition en acides aminés et la teneur en minéraux.

Caractéristiques		Valeurs typiques
Matière sèche (%)		91,5–93,3
Protéine brute (%)		81,2–92
Extrait d'éther (%)		6,2–7
Cellulose brute (%)		1–1,1
Cendres (%)		3–3,5
Couleur		Blanc cassé à brun
Acides aminés	% en protéine brute	Teneur en minéraux
Alanine	5,09	Ca 0,33-0,48%)
Arginine	6,93–6,99	P (0,45–0,50%)
Asparagine	2.03	Mg (0.22%)
Acide aspartique	3.56	K (0.10–0.33%)
Cystéine	5.07–5.09	Na (0.34%)
Glutamine	3.48	Cl (0.20–0.26)
Acide glutamique	5.86	S (1.39–1.20%)
Glycine	10.90	Cu (10mg/Kg)
Histidine	1.07–1.15	Fe (76mg/Kg)
Isoleucine	4.62–4.8	Mn (10mg/Kg)
Leucine	8.22–8.51	Se (0.69mg/Kg)
Lysine	2.57–2.63	Zn (90–111mg/Kg)
Méthionine	0.75–0.91	Mo (0.8mg/Kg)
Phénylalanine	4.81–4.93	
Proline	14.37	
Sérine	10.72	
Thréonine	4.73–4.84	
Tryptophane	0.73–0.97	
Tyrosine	2.48	
Valine	7.02–7.52	

III.1.5. Eau de gâchage :

Tous les mortiers sont mixés avec l'eau du robinet au Laboratoire de l'Université de M'sila. L'eau de gâchage utilisé est une eau potable pure et limpide apportée du laboratoire de l'université de M'sila. On a effectué les analyses chimiques au laboratoire de chimie (M'sila). Elle est donnée par :

Tableau III. 14: Caractéristiques chimiques de l'eau.

La mesure	Teneur en (mg/l)
Le temps de prise d'échantillon	10/05/2005 (9 :25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl-	234.3
Sulfate So-4	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Sodium Na ⁺	/
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

III.2. Fabrication et conditionnement des éprouvettes :

Mortier a été coulé dans les moules cubiques sans vibrée. Pour réaliser les essais, nous utiliserons des moules cubiques de dimensions 4 cm x 4 cm x 4cm et des moules prismatiques de dimensions 4 cm x 4cm x 16cm. Les éprouvettes cubiques sont destinées aux essais de la porosité. Les éprouvettes prismatiques sont réservées à la compression, essai de traction et de flexion, essais à l'ultrason.



Figure III. 15 : Des éprouvettes

III.3. Composition de mortier :

La composition du mortier est définie par la norme EN 196-1. Le mortier doit être composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable normalisé et d'une demi partie d'eau (le rapport eau / ciment = 0.50). Chaque gâchée pour trois éprouvettes d'essai doit comporter $450 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ de ciment, $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ de sable et $225 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ d'eau.

III.4. Formulation d'un mortier témoin

Pour la composition du mortier de sable témoin, nous vous utilisé un dosage en ciment et sable correspondant à celui qui est un mortier normalisé ; c'est à dire une part de ciment et trois part de sable. Concernant le dosage en eau nous vous utilisé de maniabilité, pour la détermination de la quantité d'eau qui correspond à un mortier "plastique » [20].

III.5. Malaxage du mortier

Il faut malaxer chaque gâchée de mortier mécaniquement au moyen du malaxeur spécifié.

- Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment.
- Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à petite vitesse et après 30 s, introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30 s suivantes).
- Mettre le malaxeur à sa vitesse la plus grande et continuer à mélanger pendant 30s supplémentaires.
- Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- Reprendre ensuite le malaxage à grande vitesse pendant 60 s [20].
- Dans notre travail nous avons utilisé un malaxeur automatique de marque CONTROLS.



Figure III.16: Malaxeur

III.6. Essais de maniabilité (consistance de mortier)

Elle nous permis d'apprécier la fluidité d'un mortier qu'est l'objet des essais définis par les normes NF P18-452 et NF P 15-437

III.7. Préparation des éprouvettes

- Assurez-vous que les moules sont soigneusement nettoyés et correctement montés, prêts à recevoir le mortier.
- Enduisez légèrement les parois latérales des moules d'une fine couche d'huile de décoffrage avant de procéder à la fabrication des éprouvettes. (**Figure III.17**) Cela facilitera le démoulage ultérieur.
- Versez la première des deux couches de mortier dans chaque compartiment du moule.
- Utilisez la plus grande spatule tenue verticalement pour étaler uniformément la couche de mortier dans chaque compartiment du moule.
- Effectuez 60 chocs sur chaque compartiment du moule pour bien compacter la première couche de mortier. (Réglage de la machine) (**Figure III.19**)
- Ajoutez ensuite la seconde couche de mortier dans chaque compartiment du moule.
- Utilisez la petite spatule tenue verticalement pour étaler uniformément la deuxième couche de mortier dans chaque compartiment du moule.
- Effectuez à nouveau 60 chocs sur chaque compartiment du moule pour bien compacter la deuxième couche de mortier. (Réglage de la machine) (**Figure III.19**)
- Retirez la hausse du moule et utilisez une règle plate à araser pour enlever tout excès de mortier des éprouvettes. (**Figure III.18**)
- Identifiez chaque moule en étiquetant les éprouvettes avec des informations telles que les noms, la date et les caractéristiques spécifiques pour permettre une traçabilité ultérieure. (**Figure III.20**)

Ces étapes garantissent un processus de fabrication cohérent et efficace des éprouvettes à base de mortier, tout en assurant une manipulation et un suivi appropriés.



Figure III.17: Lubrification



Figure III.18 : Rasage



Figure III.20 : étiqueter les moules.



Figure III.19 : serrée mortier
(Table de choc et des moules)

III.8. Conservation des éprouvettes :

Le moule rempli de mortier est convenablement identifié, puis placé jusqu'au moment du démoulage couvert d'un couvercle, sur un support horizontal dans laboratoire dont la température de $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ et humidité de $50\pm 5\%$.

Le démoulage est effectué entre 20 h et 24 h après le moulage. Les éprouvettes sont alors marquées convenablement avec un crayon résistant à l'eau (**Figure III.21**). Les éprouvettes sont placées dans l'eau et conservé dans une chambre humide sous conditions de température de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $90\pm 5\%$ d'humidité



Figure III.21 : Marquer les éprouvettes

III.9. Les compositions utilisées :

Dans notre travail, nous avons préparé environ 150 éprouvettes pour la caractérisation physique et mécanique des mortiers confectionnés en différent pourcentage de poudre de Plumes de poulet. On donne les nomenclatures nommées dans le travail :

- **SN** : Sable de construction (100% sable de construction)
- **C** : Ciment.
- **P** : plumes de poulet.
- **E** : Eau.

MT: Mortier de référence formulé sans utilisation de la poudre de plumes de poulet

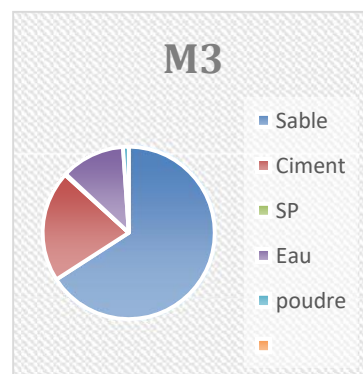
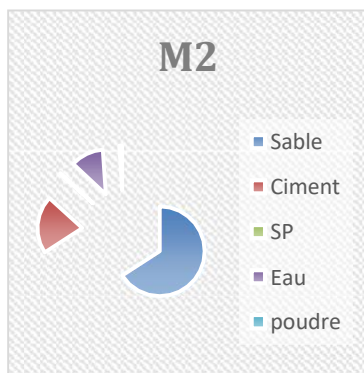
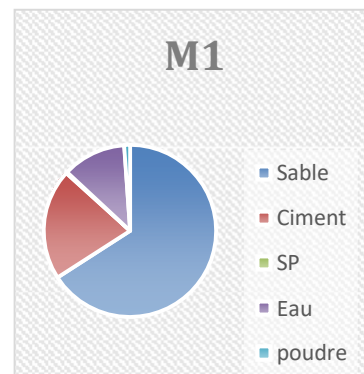
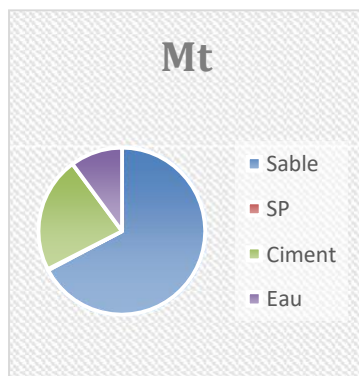
M1: Mortier formulé en substituant 5% de ciment par de la poudre de plumes de poulet.

M2: Mortier formulé en substituant 10% de ciment par de la poudre de plumes de poulet.

M3: Mortier formulé en substituant 15% de ciment par de la poudre de plumes de poulet

Tableau III. 15 : Les compositions utilisé pour le mortier.

Formulation	SABL E	Superplastifiat (g)	Ciment (g)	F	Eau (g)	Eau _f (g)	E/C	R%	Af
MT	1350	4.5	450	0	225	203	0.45	-9.7	4.5
M₁	1350	4.5	427.5	22.5	225	245	0.54	+8.8	4.6
M₂	1350	4.5	405	45	225	283	0.62	+25.7	4.5
M₃	1350	4.5	382.5	67.5	225	325	0.72	+44.4	4.8



III.10. Séquence de malaxage du mortier:

Pour la confection du mortier fluide, la séquence de malaxage décrite dans la Figure 3.15 suit les étapes suivantes :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules prismatique et cubique nécessaires pour les essais, ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée, le super plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (sable, ciment, et poudre de Plumes de poulet).
- Malaxer pendant 1 min et 30 secs dans le malaxeur.
- L'eau de gâchage est ajoutée à un tiers du volume de super plastifiant et de malaxage se poursuit pendant 2.5 mn.
- Le super plastifiant restant est ajouté avec un malaxage final d'une minute.
- Malaxer pendant 3min et ajouter l'eau tout attentivement.
- Mesurer l'affaissement à chaque fois par Mini cône jusqu'à la valeur désirée [d(20,26)].
- On remplit les moules de mortier.
- Maintenir les éprouvettes à l'air libre au laboratoire pendant 24 h et faire la cure et marquer par peinture et conserver dans un bac d'eau jusqu'au jour d'essais (7,14 et 28).

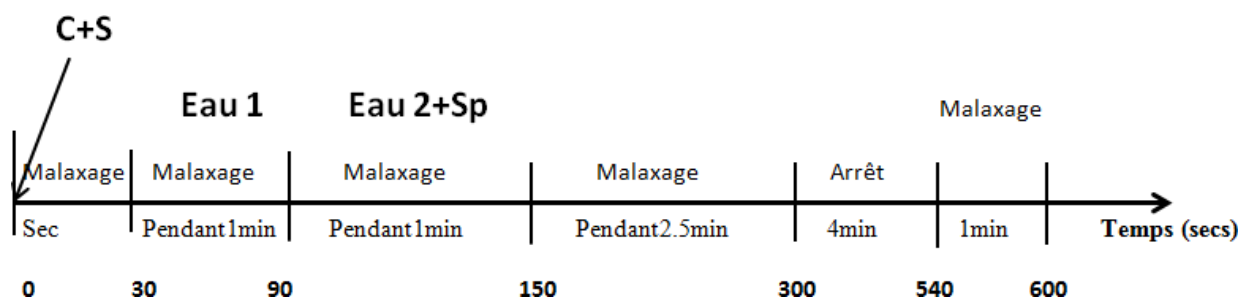


Figure III.22 : Séquence de malaxage du mortier

III.11. Démoulage et conservation des éprouvettes :

Après malaxage, on prélève un échantillon du béton afin de remplir des éprouvettes cubiques de (4x4x4) cm et prismatiques de (4x4x16) cm. On conserve les éprouvettes dans la salle pendant 24 heures. Après 24 heures, on démoule les éprouvettes et on les place dans un bac de conservation, avec 100% d'humidité et d'une température de 20 °C.



Figure III.23 : Epreuves conservées dans le bac

III.12. Essais Sur Mortier :

III.12.1. Des essais à l'état frais :

a) L'affaissement :

La mesure de la déformation verticale subie par le mortier juste après son mélange. Cette mesure est effectuée en plaçant un cône spécifique rempli de mortier sur une surface plane, puis en retirant délicatement le cône. L'affaissement est ensuite mesuré en observant la différence de hauteur entre le sommet initial du mortier et la hauteur atteinte après le retrait du cône. Cette mesure donne une indication de la consistance et de la fluidité du mortier, ce qui est important pour évaluer son aptitude à être utilisé dans différents types de travaux de construction. En résumé, l'affaissement est une mesure de la capacité du mortier à s'écouler et à se répandre lorsqu'il est fraîchement mélangé.



Figure III.24 : Cône d'Abrams

b) La masse volumique à l'état frais :

Pour mesurer la masse volumique à l'état frais, on utilise un récipient d'un litre dont la masse à vide est connue. Voici les étapes à suivre :

- Tout d'abord, pesez le récipient vide et notez sa masse m_1

- Remplissez le récipient d'un échantillon de mortier frais.
- Après avoir rempli le récipient, pesez-le à nouveau avec l'échantillon de mortier frais et notez cette masse m_2

$$P = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

p : masse volumique du mortier frais (kg/l),

m_1 : masse du récipient (kg),

m_2 : masse du moule plus la masse de béton contenu dans le récipient (kg),

V : volume du récipient.

III.12.2. Essais à l'état durci :

III.12.2.1.

Cure appliquée [NF P 18-404] :

Dans cette expérimentation scientifique, les mêmes procédures de traitement et de stockage ont été utilisées pour tous les échantillons selon la norme NF P 18-404. Après avoir retiré les échantillons des moules, ils ont été conservés pendant 24 h à température ambiante (20 ± 2) °C. Après cela, les échantillons ont été retirés des moules et placés dans de l'eau à une température de (20) °C pendant (07, 14, 21, 28) jours. Ce type de stockage assure l'hydratation du béton, évite la fissuration due au séchage, maintient la saturation du béton, et se rapproche ainsi des conditions réalistes que l'on peut rencontrer dans certains ouvrages souterrains.

a) La masse volumique a L'état durci :

Détermination de la masse volumique du mortier durci dans trois états différents : à l'état initial, saturé en eau, et sec. Pour ce faire, on mesure le volume de l'échantillon de mortier durci et sa masse dans chacune de ces conditions. Ensuite, on calcule la masse volumique en utilisant la formule suivante :

$$\rho = \frac{Me}{V}$$

- P : est la masse volumique du mortier durci en kilogrammes par mètre cube (kg/l).
- Me : est la masse de l'échantillon lorsqu'il est saturé d'eau.
- V : Volume des éprouvettes en m^3 .

Cette norme s'applique au mortier léger, au mortier de densité normale et au mortier lourd. Elle permet d'évaluer la densité du mortier dans différentes conditions, ce qui est essentiel pour garantir la qualité et la durabilité des constructions qui utilisent du mortier.

b) Résistance à la traction par flexion :

Les essais de traction par flexion trois points sont effectués sur des échantillons prismatiques de dimensions $4 \times 4 \times 16$ cm³ conformément à la norme NF EN 196-1. Pour cet essai, les prismes sont positionnés dans un dispositif de flexion de telle sorte qu'une de leurs faces latérales de moulage

repose sur des rouleaux d'appui, avec leur axe longitudinal perpendiculaire à ces rouleaux. Une charge verticale est alors appliquée sur la face latérale du prisme, augmentée à un taux de 50 N/s \pm 10 N/s, jusqu'à ce que l'éprouvette se rompe.

Les demi-prismes doivent être conservés jusqu'au moment des essais en compression pour déterminer la résistance en flexion R_f (en MPA).

Les mortiers étudiés ont été testés à des âges de 7, 14 et 28 jours, et les résistances à la flexion sont représentées par la moyenne de trois éprouvettes.



Figure III.25 : Essai de résistance à la flexion

c) Résistance à la compression :

L'essai de compression est l'un des tests les plus importants pour déterminer le comportement des matériaux composites. En effet, il est primordial dans certains contextes industriels, de connaître la résistance à la compression et la capacité à supporter les charges d'un matériau ou d'une structure.



Figure III.26 : Essai de résistance à la compression

d) Porosité ASTM - C642 :

La méthode ASTM C642 est l'une des méthodes utilisées pour évaluer la porosité du mortier. Son objectif est de déterminer le pourcentage en volume des pores présents dans l'éprouvette, ce qui permet de comprendre l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores.

Voici les étapes de la méthode :

- Chauffage de l'éprouvette jusqu'à évaporation pendant 5 heures. (Figure III.27)
- Pesage de l'échantillon à l'air (noté C à ce point). (Figure III.28)
- Pesage de l'échantillon sous l'eau (pesée hydrostatique, noté D à ce point).
- Calculer par la formule :

$$P\% = \frac{C-D}{C-D} * 100$$

Cette méthode fournit une mesure précise de la porosité du mortier, ce qui est essentiel pour évaluer la qualité et les propriétés du matériau.

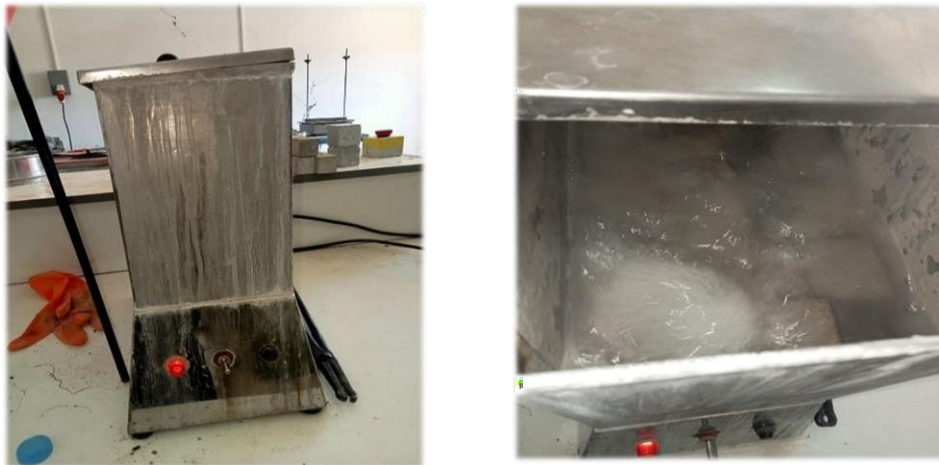


Figure III.27: essai de chauffage



Figure III.28: Essai de mesure dans l'eau

III.13. Conclusion :

Ce chapitre nous avons abordé de la définition des matériaux de construction et des additifs utilisés, en mettant en lumière leurs propriétés physiques, mécaniques et chimiques. Il présente également les résultats de la recherche expérimentale provenant du programme d'essais, ainsi qu'une discussion approfondie sur ces résultats.

CHAPITRE IV

Résultats

Et

Discussion

IV. CHAPITRE IV : Partie Pratique

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons entamer l'étude de l'effet d'ajout des déchets de plumes de poulet sur le comportement mécanique des mortiers, la formulation du mortier à base du plume de poulet ont été réalisés afin d'étudiées différentes compositions utilisées du mortier dans **Tableau IV.1** suivant :

Tableau IV.1 : les notations des différentes compositions utilisées

Notation	Pourcentage (%) poudre
MT	0% Témoin
M1	5%
M2	10%
M3	15%

IV.2. Les résultats des essais à l'état frais :

IV.2.1. L'affaissement :

Cet essai est le plus couramment utilisé car il est très simple. Il est réalisé sur le mortier à l'état frais pour déterminer sa consistance et sa fluidité. Les résultats des essais à l'état frais (après le gâchage directement) sont représentés dans le tableau suivant:

Tableau IV.2 : Résultats de l'essai l'affaissement et rapport E/C pour mortiers étudiés

Formulation	L'affaissement (cm)	E/C
MT	4.5	0.45
M₁	4.6	0.54
M₂	4.5	0.62
M₃	4.8	0.72

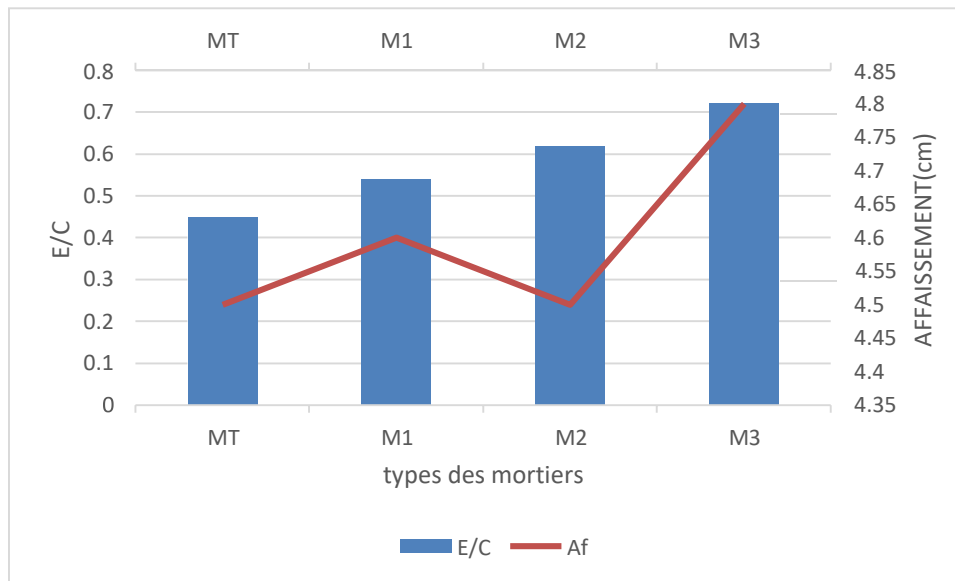


Figure IV.1 : Evolution de l'affaissement et rapport E/C des mortiers étudiés

D'après la **figure IV.1**, On remarque que l'augmentation de la teneur en plumes de poulet dans les ciments augmente la demande en eau. Lorsque la finesse de la poudre de plumes de poulet augmente, la consistance diminue et la demande en eau augmente. Ce qui laisse dire que la poudre de plumes de poulet absorbe l'eau.

IV.2.2. La masse volumique :

Tableau IV.3 : Résultats de la masse volumique état frais du mortier étudié

Formulation	La masse volumique (g/cm ³)
MT	2.18
M ₁	1.96
M ₂	1.83
M ₃	1.71

Les histogrammes de la **figure IV.2** représenté la variation de la masse volumique de la masse volumique à l'état frais en fonction de pourcentage de poudre de plumes de poulet.

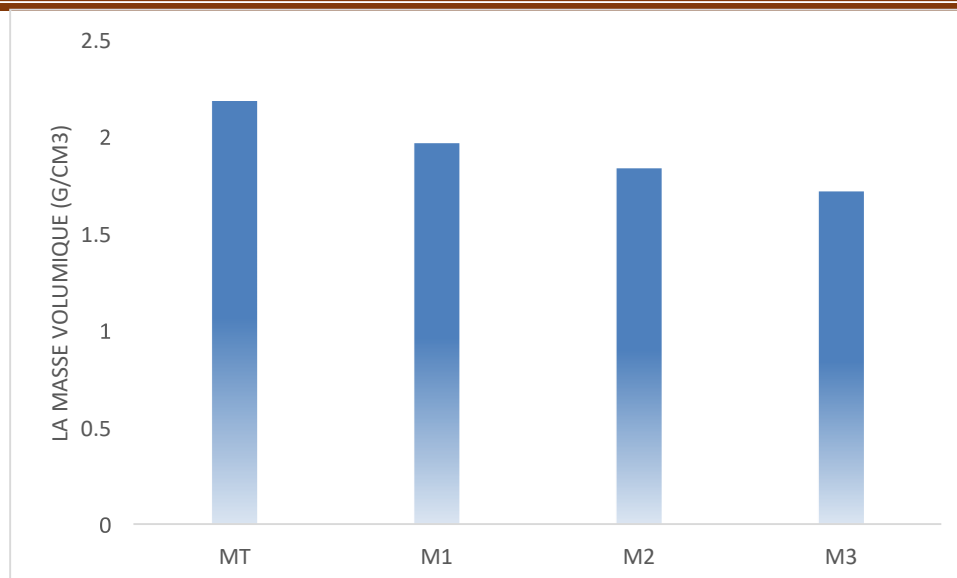


Figure IV.2 : Histogramme de la masse volumique état frais du mortier étudié.

- D'après ces résultats, la masse volumique du composite varie entre 2,18 et 1,71 g/cm³.
- On constate que, plus on augmente le taux de poudre de poulet plume de, plus la densité diminue. Ceci est due par la faible densité de la plume comparée à la densité de ciment.
- Pour un mélange de M1 substitué de 5% du poudre de plume, la masse volumique diminué de (10.09 %) par rapport à la masse volumique MT (mortier témoin), pour atteindre (16.05%) pour le M2 substitué de 10% du poudre de plume, et (21.55%) pour le M3 substitué de 15% du poudre de plume.
- Alors on peut conclure qu'à partir de 15% la diminution à une valeur régulière environ (5.5%) pour chaque substitution.

IV.3. Les résultats des essais à l'état durci :

IV.3.1. La masse volumique a L'état durci :

Tableau IV.4 : Résultats de la masse volumique état durci du mortier étudié

§§§	7 (jours)	14 (Jours)	28 (Jours)
MT	4.20	4.29	4.35
M1	3.51	3.57	3.96
M2	3.39	3.45	3.89
M3	3.23	3.31	3.79

La **figure IV. 3** présente la variation de la densité des différents types de mortier à l'âge (7, 14 et 28 jours).

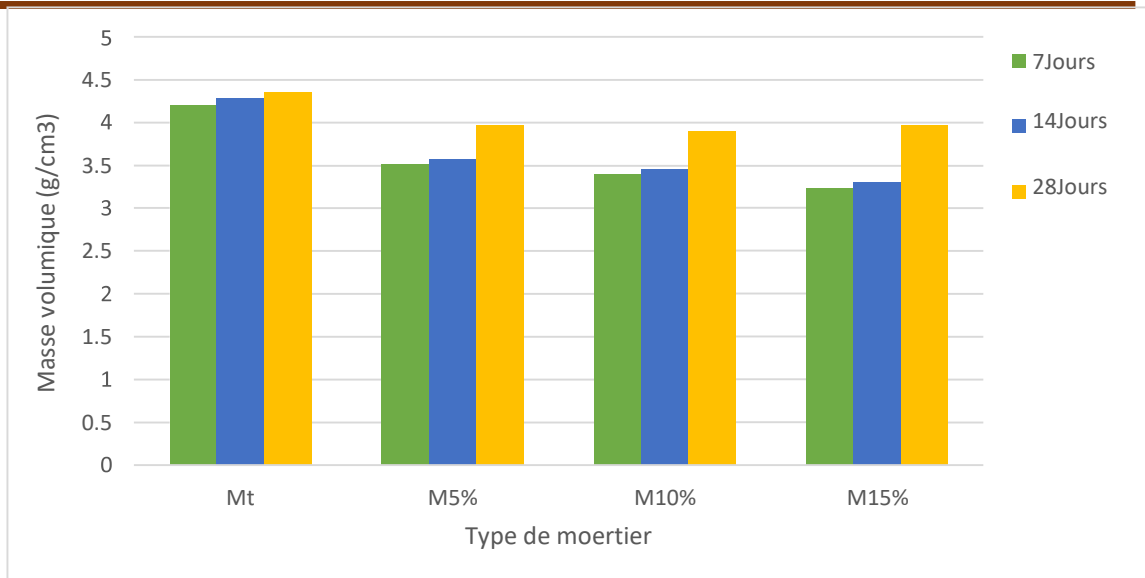


Figure IV. 3 : Histogramme de la masse volumique du mortier étudié.

D’après la Figure IV. 3:

- Il est à noter que plus le pourcentage de remplacement de poudre par les plumes dans la bouille est élevé, plus les valeurs de densité apparente de la bouille sont élevées au fil du temps après durcissement. Cela indique que le remplacement de la poudre des plumes dans des proportions plus élevées entraîne une augmentation de la densité apparente de la bouillie.
- On observe également que la densité apparente du lisier augmente avec le temps après durcissement. Par exemple, les valeurs de densité apparente au jour 28 semblent supérieures aux valeurs des jours 7 et 14.

IV.3.2. Résistance à la traction par flexion :

L'évolution de la résistance à flexion a été étudiée à 7.14.28 jours de stockage dans l'eau, et nous avons obtenu les résultats sous forme de courbes graphiques :

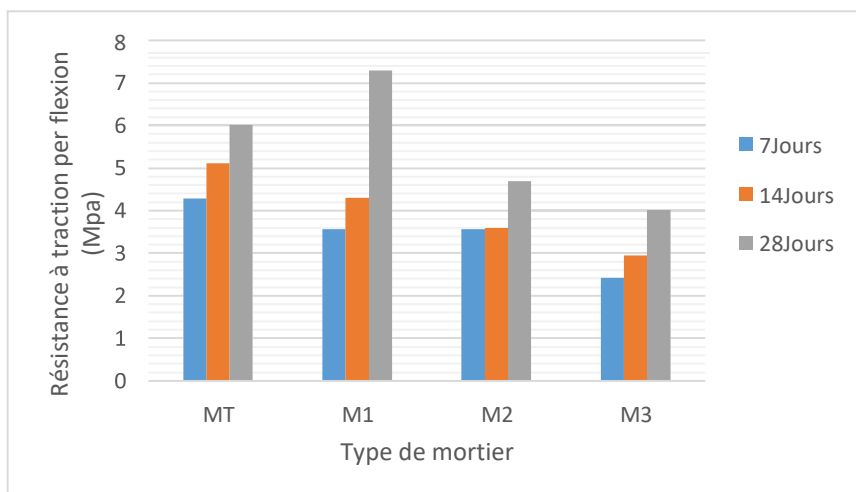


Figure IV.3.. Evolution de la résistance en traction des différentes compositions de mortier en fonction de l’âge

a) MT :

Figure IV. 4 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier MT Selon les résultats obtenus (**Figure IV. 4**) On note que l'augmentation de pourcentage du déchet incorporé dans le mortier a l'effet suivant :

On remarque que la résistance à la traction de **MT** augmente avec l'âge de cette dernière grâce à ses bonnes adhérences, ce qui améliore la résistance.

- A 7 jours il faisait 1658.24N à 0,4mm
- A 14 jours il faisait 2182.43N à 0,5mm
- A 28 jours il faisait 2568.07N à 0,55mm.

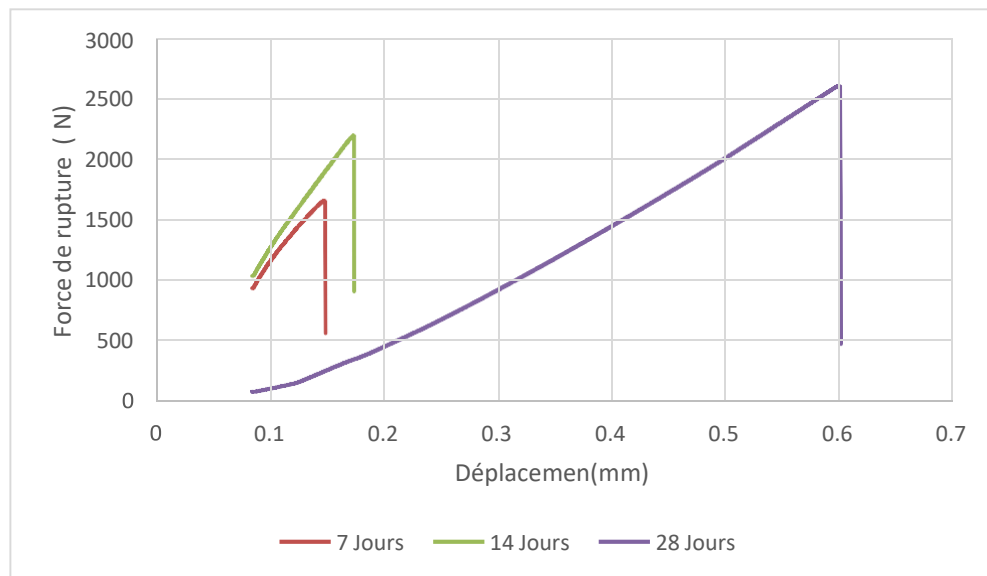


Figure IV. 4 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier Mt

b) M1 :

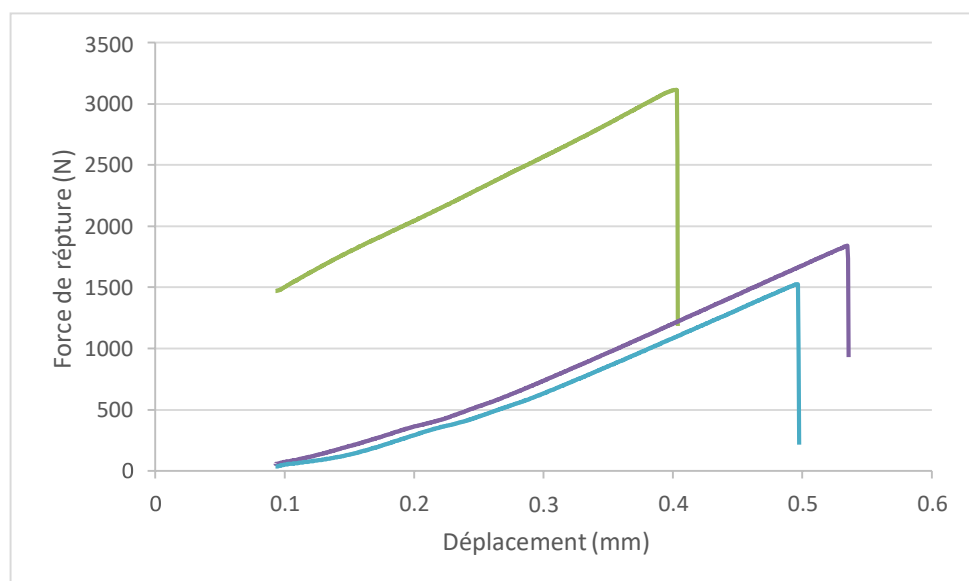


Figure IV. 5 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier Mt

Selon les résultats obtenus (**Figure IV. 5**) On note que l'augmentation de pourcentage du déchet d'aluminium incorporé dans le mortier a l'effet suivant:

On remarque que la résistance à la traction de M1 augmente avec l'âge de cette dernière grâce à ses bonnes adhérences, ce qui améliore la résistance.

- A 7 jours il faisait 1521.64N à 0,15mm
- A 14 jours il faisait 1834.28N à 0,18mm
- A 28 jours, il faisait 3115.48N à 0,6mm

c) **M2 :**

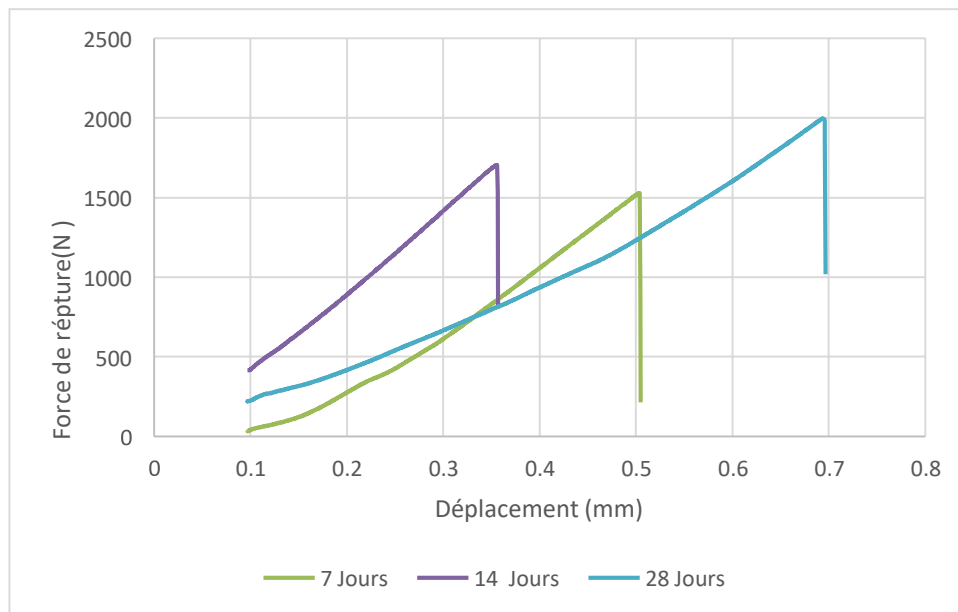


Figure IV. 6 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier M2

Selon les résultats obtenus (**Figure IV.6**) On note que l'augmentation de pourcentage du déchet d'aluminium incorporé dans le mortier a l'effet suivant:

On remarque que la résistance à la traction de M2 augmente avec l'âge de cette dernière grâce à ses bonnes adhérences, ce qui améliore la résistance.

- A 7 jours il faisait 1521.45N à 0,5mm
- A 14 jours il faisait 1535.56N à 0,035mm
- A 28 jours, il faisait 2000N à 0,7mm

d) M3 :

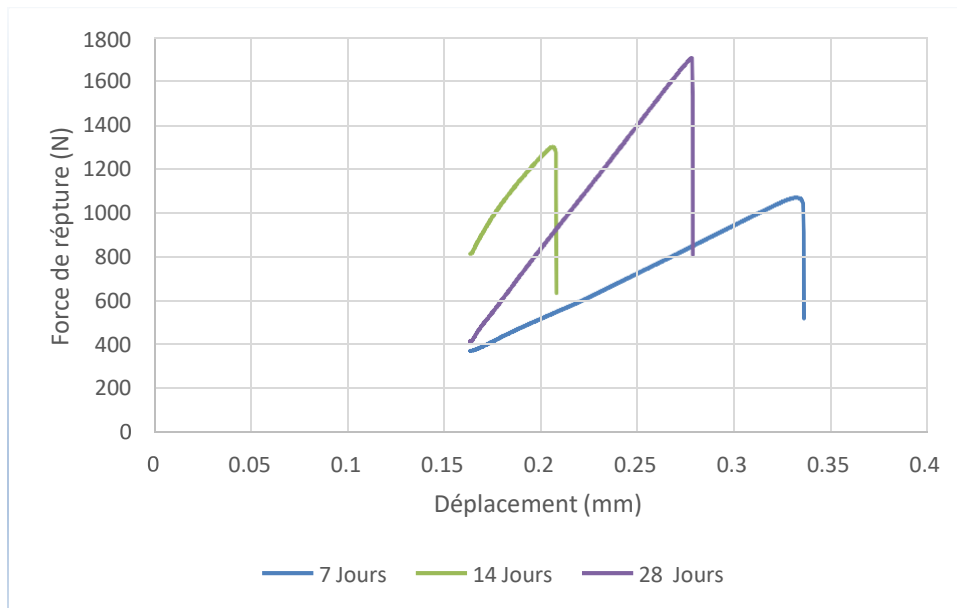


Figure IV. 7 : Résultat du test de résistance à la flexion après 7,14 et 28 Jours du mortier M3

Selon les résultats obtenus (**Figure IV.7**) On note que l'augmentation de pourcentage du déchet On remarque que la résistance à la traction de **M3** augmente avec l'âge de cette dernière grâce à ses bonnes adhérences, ce qui améliore la résistance.

- A 7 jours il faisait 1100N à 0,33mm
- A 14 jours il faisait 1300N à 0,21mm
- A 28 jours, il faisait 1705N à 0,27mm

Interprétation :

On observe que pour tous les Mortiers la résistance à la traction augmente avec l'âge de ces derniers grâce à leurs bonnes adhérences améliore la résistance.

Le mélange Poudre de plumes de poulet améliore la résistance à la traction des Mortiers.

IV.3.3. Résistance à la compression :

L'évolution de la résistance à la compression a été étudiée à l'âge de 7,14 ,28 jours de conservation dans l'eau, les résultats sont présentés dans le tableau et le figure suivant :

Tableau IV.5 : Résultat de l'essai de résistance à la compression

§§§	7 (jours)	14 (Jours)	28 (Jours)
MT	30.56	49.53	54.21
M1	37.53	51.68	55.53
M2	26.96	43.97	45.56
M3	25.29	35.13	39.32

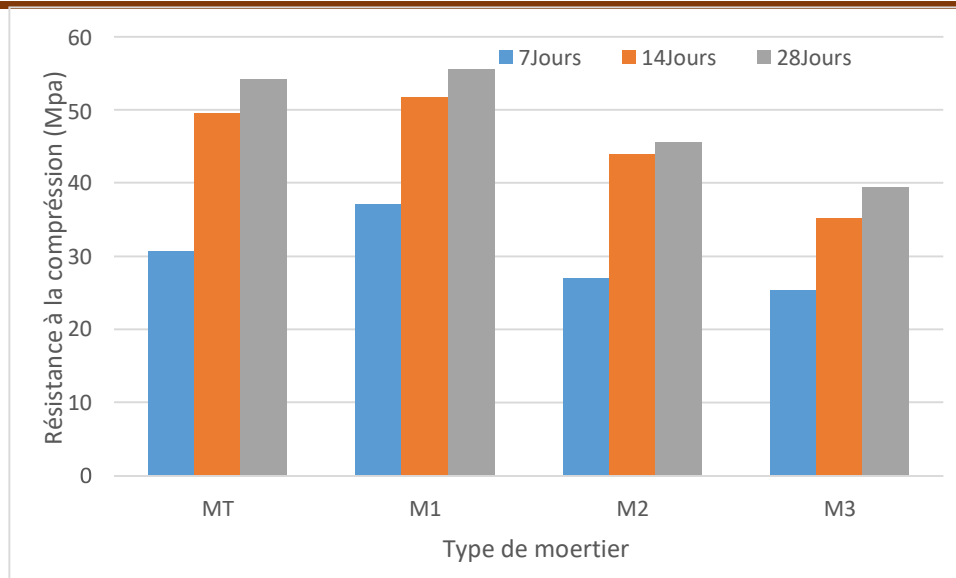


Figure IV. 8 : Histogramme de la résistance à la compression

L'historgramme (IV. 8) présente l'évolution de la résistance à la compression d'un mortier formulé avec poudre de plumes de poulet (5% ,10% et 15%) et super plastifiant (1.5%) en 7, 14 et 28 jours. D'après les résultats obtenus :

- La figure IV. 8 montre que la résistance à la compression augmente en fonction de l'âge pour toutes les éprouvettes.
- On remarque que le rapport de compression à 5% poudre de plumes de poulet en 28 jours est meilleur que le rapport de compression à 10%, 15%
- Pour le cas de 7 jours, la résistance à la compression du mortier avec poudre de plume de poulet est forte pour les compositions M5%, M10%, et les taux sont respectivement 14.89%, 11% et 17% par rapport au témoin. Sauf pour la composition M15% où le taux est faible par rapport au témoin et estimé à 8.5%.
- Après 28jours, la résistance de compression du mortier avec poudre de plume de poulet diminue dans les deux compositions M10% et M15% avec des taux de 7.44% et 8.5%, pour la composition M5% le taux augmente par rapport au mortier témoin.
- Ces résultats montrent que l'addition progressive de la poudre de plume de poulet dans le ciment jusqu'à 10%, a entraîné une légère diminution des résistances mécaniques par rapport à celle du témoin au jeune âge et à long terme. Ces résistances sont comparables avec celle du mortier témoin.

IV.3.4. Porosité :

La porosité des composites est résumée dans le tableau ci-après.

Tableau IV.6 : Résultat de l'essai de porosité

§§§	7 (jours)	14 (Jours)	28 (Jours)
MT	13.33	11.55	10.8
M1	12.77	13.03	10.55
M2	12.81	12.61	09.27
M3	12.35	11.33	09.13

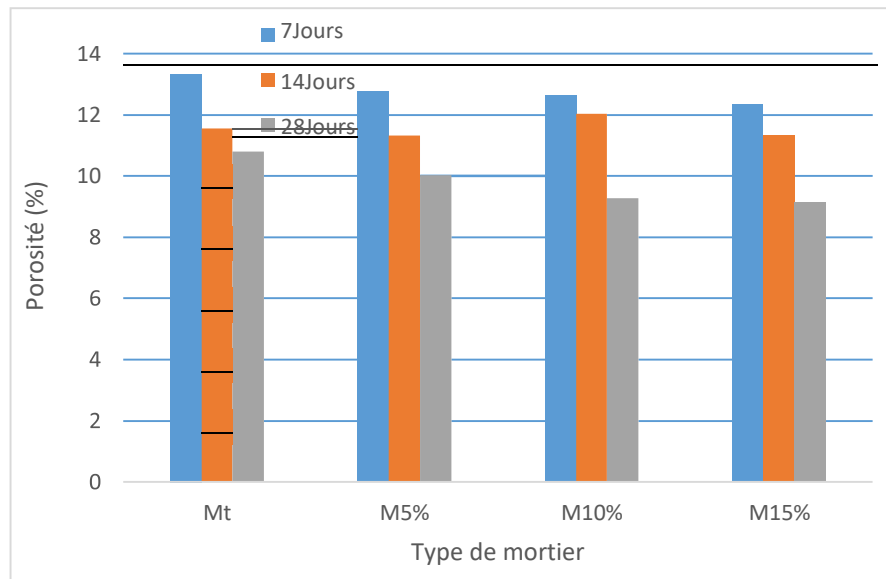


Figure IV. 9 : Evolution de la porosité

- **Figure IV. 9** Montre le résultat du test de porosité, et on constate que la valeur de porosité varie au cours de la période étudiée pour tous les types de liers qui ont été traités selon les pratiques de travail.
- On note que la porosité des mortiers avec de poudre de poulet et d'adjuvant est généralement faible par rapport aux mortiers témoins. Le mortier M5% présente une porosité de 6% comparable à celle de mortier témoin Mt, ces résultats confirmés par d'autres chercheurs. On constate que la porosité varie en fonction du pourcentage de poulet. Elle diminue en fonction du pourcentage de l'adjuvant qui réduit la quantité d'eau utilisée.
- En revanche, une diminution de la porosité du mortier M10% et M15% est observée respectivement, ceci s'accompagne d'une augmentation du taux de remplacement du ciment par la poudre de poulet plus l'effet d'un 1.5% de super plastifiant lors de la formulation des mortiers. En conséquence, l'effet positif des fillers de poulet avec le super plastifiant diminue la porosité des mortiers et la plus faible valeur a été enregistrée pour le M10% avec une réduction de 25% par rapport au Mt.
- Poudre de Plumes de poulet et a remplissent les vides dans la matrice cimentaire en réduisant sa porosité.
- L'effet en super plastifiant fixé à 1.5% du poids de liant, permet de diminuer le rapport E/C et la porosité et par conséquent, augmente les résistances à la compression.

Conclusion générale :

Le mortier est l'un des matériaux les plus essentiels dans le domaine de la construction. La gestion efficace des déchets constitue un défi majeur, et leur utilisation optimale représente une solution viable. Dans cette étude, nous nous concentrons sur la valorisation des plumes de poulet dans l'industrie du mortier.

L'objectif principal de cette recherche est d'effectuer une étude expérimentale sur l'impact des plumes de poulet sur le comportement des mortiers. Nous avons comparé le comportement d'un mortier ordinaire à celui d'un mortier incorporant des plumes de poulet, avec des taux de substitution de 5%, 10% et 15%.

Cette étude a permis d'évaluer l'effet de la substitution des plumes de poulet sur les propriétés du mortier à l'état frais (densité et affaissement) ainsi qu'à l'état durci (résistance à la compression, résistance à la traction par flexion, porosité et densité). Les résultats obtenus démontrent que :

- Lorsque le pourcentage massique de Plumes de poulet augmente, La densité diminue et l'absorption d'eau augmente
- L'augmentation du taux d'ajout (Plumes de poulet) dans le ciment influe sensiblement sur la finesse (surface spécifique) des ciments ;
- Le dosage l'ajout de Plumes de poulet dans le ciment, augmente la surface spécifique du liant qui entraîne une demande d'eau supplémentaire et conduit ainsi à une eau de consistance plus importante dans toutes les pâtes de ciment ;
- Et quand on L'utilisation le Plumes de poulet, cela nous donne une faible densité et une grande porosité.
- L'ajout de la poudre de Plumes de poulet a donné des résultants acceptables par rapport à la composition témoin, essentiellement la composition contenant 5 % de poudre amélioré la maniabilité et la résistance mécanique ;
- Nous concluons de l'utilisation de Plumes de poulet .au lieu de ciment meilleure résistance mécanique lors de l'utilisation de Plumes de poulet à 5 % ;
- Et lorsque quand on L'utilisation du Plumes de poulet dans le mortier, nous obtenons une résistance à la compression et flexion un peu moins que témoin , Seule mortier avec 5 % poudre de plumes de poulet a donné de meilleurs résultats que témoin.
- Nous concluons également que le mortier avec Plumes de poulet nous donne un mortier léger

Enfin nous pouvons conclure au terme de cette étude que l'introduction des Plumes de poulet

L'étude a montré que les plumes de poulet peuvent être utilisées avec succès pour améliorer les propriétés du mortier afin de répondre aux exigences de la construction, en particulier dans les endroits où le mortier n'est pas soumis à des contraintes mécaniques importantes. Cela signifie que les plumes de poulet peuvent être utilisées efficacement dans la construction, améliorant ainsi la durabilité environnementale et réduisant les déchets.

Notre objectif est toujours d'économiser et de réduire les coûts afin d'atteindre les objectifs

Conclusion générale

environnementaux d'économie de clinker et de réduction des émissions de dioxyde de carbone.

Conclusion générale

Recommandations et perspectives :

A l'issue de ces conclusions, nous recommandons la poursuite de ces travaux, notamment les points suivants :

- Elargir l'étude de la durabilité des mortiers avec ajouts
- Etudier la conductivité thermique

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. ABDO J. Ciments. Techniques de l'ingénieur Construction. 2008(C920).
2. Gagne R. Durabilité et réparation du béton. Cours maîtrise de génie civil, université de Sherbrooke, Canada. 2004.
3. Olivier J. livre de " Durabilité des bétons". A NONAT: chapitre2.
4. Hyvert N. Application de l'approche probabiliste à la durabilité des produits préfabriqués en béton: Toulouse 3; 2009.
5. M. Belouadah, Z. E. A. Rahmouni, and N. Tebbal, "Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement," *Procedia Computer Science*, vol. 158, pp. 366–375, 2019..
6. Souchu P. La fabrication du ciment courant Site documentaire de lerm 2009 [Available from: <http://doc.lerm.fr/la-fabrication-du-ciment-courant/>].
7. Cimbéton. Les constituants des bétons et des mortiers. COLLECTION TECHNIQUE C IMBÉTON: CIMBÉTON; 2005.
8. G.N.I.A V. Le clinker et le ciment GEOCACHING; 2018 [Available from: https://www.geocaching.com/geocache/GC7GVJA_lvb-vtt-30-le-ciment?guid=da88781d-%2066ff-4b5b-86d6-4a5d21196b8d].
9. Adam M, . Csndcecaebp. Guide pratique pour l'emploi des ciments: Eyrolles; 1968.
10. Dreux G, Festa J. Nouveau guide du béton et de ses constitutants: Eyrolles; 1998.
11. Schlumberger D. Cementing Technology: Nova Communications Limited; 1984.
12. Zine El Abidine Rahmouni, Nadia Tebbal, and Imen Yamina Omri , Effect of Curing Temperature in the Alkali-Activated Brick Waste and Glass Powder mortar and Their Influence of Mechanical resistances Geomaterials Development Laboratory, University of M'sila, M'sila (28000), Algeria
13. Touzouti K. Introduction en nano-ciments et en nano-bétons: Université Mouloud Mammeri; 2012.
14. Barkat A. Valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrages en béton 2006.
15. Amouri C, Houari H. Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires. 2009.
16. LES ANCIENS ENK, DU M'ZAB C. Workshop international, L'espace architectural et urbain: concepts et méthodes, labo lacomofa, université de Biskra, 2013.
17. M. Belouadah, Z. E. Rahmouni, N. Tebbal, and M. E. H. Hicham, "Evaluation of concretes made with marble waste using destructive and non-destructive testing," in *Annales de Chimie-Science des Matériaux*, 2021, pp. 361–368..
18. LAKHDARI S. EFFETS DES ADJUVANTS FLUIDIFIANTS SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-MECANQUES ET RHEOLOGIQUES DES MORTIERS A BASE DES SABLES DES CARRIERES 2015.
19. Taalah B. Formulation et caractérisation des bétons en climat chaud: Biskra, Université Mohamed khider. Faculté des Sciences et des Sciences de l ...; 2006.

Références bibliographiques

20. Baron J. Les bétons-bases et données pour leur formulation 1996.

Références bibliographiques

21. BEDERINA M. CARACTÉRISATION MÉCANIQUE ET PHYSIQUE DES BÉTONS DE SABLES A BASE DE DÉCHETS DE BOIS: ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE; 2007.
22. Sablocrete. BÉTONS DE SABLES. Chaussées PdléndPe, editor1994. 236 p.
23. Meddah MS, Zitouni S, Belâabes S. Effect of content and particle size distribution of coarse aggregate on the compressive strength of concrete. *Construction and building materials*. 2010;24(4):505-12.
24. AHLEM N. Effet du traitement des granulats plastiques et le type de sable sur les caractéristiques du mortier.
25. Hamou AT. Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons.
26. Nicot P. Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier: Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier; 2008.
27. Yassine B. Évaluation des modifications mécaniques et rhéologiques apportées par le sable de concassage aux mortiers et bétons : Université Hassiba Ben Bouali de Chlef, Département Génie C; 2017.
28. Tebbal Nadia, Rahmouni Zine El Abidine , Maza Mekki , Djendi Zoubir , 2022, Combined effect of high temperatures and crystalline slag on the mechanical behaIVor of geopolymers mortars Author links open overlay panel.
29. Balapgol B, Kulkarni S, Bajoria K, editors. Strength and durability of concrete with crushed sand. 27th Conf Our World Concr Struct; 2002.
30. M Belouadah, ZEA Rahmouni, N Tebbal, Influence of the addition of glass powder and marble powder on the physical and mechanical behavior of composite cement *Procedia Computer Science* 158, 366-375
31. Messaouda Belouadah, Zine El Abidine Rahmouni and Nadia Tebbal. 2018.6.3, Effects of glass powder on the characteristics of concrete subjected to high temperatures.
32. Menadi B, Kenai S, Khatib J, Aït-Mokhtar A. Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand. *Construction and Building Materials*. 2009;23(2):625-33.
33. -Lesage G-CR. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 1984;30(01).
34. SELSMANE D. (2010) Etude de l'extraction des protéines de coproduits d'abattage et leur valorisation comme ingrédients fonctionnels ; Thèse de Doctorat en Génie des procédés alimentaires, Université Blaise Pascal- Clément Ferrand II, France ; p19.
35. MOMMEJA F. R. J. (2004) Contamination des effluents d'abattoir par Escherichia coli producteurs de SHIGA-toxines, dissémination environnementale et conséquences en santé publique. Thèse de Doctorat vétérinaire ; Toulouse ; p66.
36. KHERRATI B., FAID M., ELYACHIOUI M., WAHMANE A. (1998) Processus pour le recyclage des déchets des abattoirs et des sous-produits par fermentation ; *BioresourceTechnology*N°54; pp 63, 75-79.
37. RAJESHWARI K.V., BALAKRISHNAN M., KANSAL A., LATA K., KISHOR E.

Références bibliographiques

(2000)State-of-the-art de la digestion anaerobia; La technologie pour le traitement des eaux usées industrielles, 4 (2) ; pp 135-156.

38. BOUCHERBA N. (2014) Valorisation des résidus agro-industriels ; Thèse de Doctorat,

Références bibliographiques

Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abderrahmane Mira, Bejaïa. Pp 11-13, 17.

39. LOUALI N. (2009) Evaluation énergétique des déchets solides en Algérie, une solution climatique et un nouveau vecteur énergétique ; Mémoire de Magister en physique énergétique, Université EL HADJ LAKHDAR, Batna ; p19.

40. SAVARY B., VINCENT R., RODRIGUEZ C., CHOLLOT A. (2004) Caractérisation des risques chimiques professionnels de la filière de gestion des déchets : Analyse à priori des risques potentiels ; Note Scientifique et Technique (NST) ; p 60.

41. ADEME (2002) Etat des lieux et perspectives de recyclage des déchets issus du traitement des plumes et duvets en France ; Rapport final.

ANNEXES

Annexe 01 :



SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5R CIMENT PORTLAND

Ciment portland, pour les bétons hautes performances et a une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid.

CEM I 42.5R:

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).



DOMAINES D'APPLICATION

Un ciment pour tous vos travaux de constructions de haute résistance a jeune âge, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes:

- ▶ Produits en bétons qui demandent un durcissement rapide.
- ▶ Le bétonnage dans des coffrages couissant, surtout en période hivernale.
- ▶ Béton résistant au gel en présence de sels de déverglaçage.
- ▶ Tabliers de ponts.
- ▶ Béton pompé.
- ▶ Béton projeté



APPLICATIONS RECOMMANDEES

- ▶ Béton armé à haute résistance.
- ▶ Béton autoplaçant.



Un produit conforme aux normes et spécifications de l'Union européenne. Le marquage CE est une exigence légale pour certains produits sur le marché de l'UE.



Produit conçu et fabriqué sous un Système de Management de la Qualité certifié ISO 9001 par AFAQ-AFNOR.



Annexe 02 :

 FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec) 0/5	Gravillons (sec) 8/15mm 15/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	50k X1	X7	X5 + X4	25 L
	Ciment	Sable Correcteur 0/1mm	Sable (sec) 0/4mm	Eau (litres)
Mortier de briquetage	50k X1	X6	X9	35 L
Mortier de finitions	50k X1	X9	X6	35 L

Remarque: un bidon =10 litres

 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	Valeur
Perte au feu	26 – 37
Teneur en sulfates (SO3)	2.2 – 2.8
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	1.7 – 2.8
Teneur en Chlorures (Cl-)	0.03 – 0.07
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur
C3S	56 – 66
C2S	5.1 – 7.2
Propriétés physiques	Valeur
Consistance normale (%)	25.8 – 26.4
Expansion à chaud (mm)	0.25 – 1.0
Temps de prise (min)	Valeur
Début de prise	150 – 190
Fin de prise	220 - 250

Résistance à la compression	Valeur
2 jours (MPa)	20 – 29
28 jours (MPa)	42.5 – 52.5


 CONSIGNES DE SÉCURITÉ
PROTÉGEZ VOTRE PEAU:

Portez les équipements adaptés dans vos chantiers:



casques



lunettes



gants



genouillères



chaussures




vêtements de sécurité

Djar Belahrache, Branis, Biskra, Algérie

Tel: (+213) 0560 753 424

Fax: (+213) 033 62 73 92

 www.biskriaciment-dz.com

 contact@biskriaciment-dz.com

    Biskria Ciment


01/2023

Annexe 03 :

NOTICE TECHNIQUE

2 1 1 9

MEDAFLOW 30Conforme à la norme EN 934-2: TAB 1, TAB 3.1
ET TAB 3.2 NA 774.**Super plastifiant
Haut réducteur d'eau****DESCRIPTION**

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

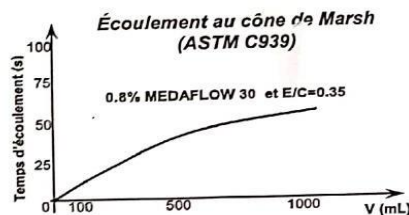
DOMAINES D'APPLICATION

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

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

- Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
 - Amélioration considérable de la fluidité
 - Une très bonne maniabilité
 - Éviter la ségrégation
 - Faciliter la mise en œuvre du béton



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



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



Sur béton durci :

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

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

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

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

