

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



UNIVERSITE KASDI MERBAH DE OUARGLA  
FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL ET D'HYDRAULIQUE



## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

## Thème

*Effet de l'ajout de la cendre issue de la combustion de déchets de palmiers dattiers à différentes températures sur les propriétés mécaniques du mortier de ciment*

Présenté par :

- **LALEM Fatima**

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

<b>MAOUCHE Hnia</b>	M.C« B »	Université, d'Ouargla	Présidente
<b>AKCHICHE Hamida</b>	M.A « A »	Université d'Ouargla	Examinatrice
<b>REZIG Djebaili</b>	Magister	CTH d'Ouargla	Encadreur
<b>KHELLOU Abderrezak</b>	M.C« B »	Université d'Ouargla	Co- Encadreur

Promotion 2019



## ***Remerciements***

***En premier lieu, nous remercions notre dieu «ALLAH», notre créateur de donner-vous la force d'accomplir ce travail.***

***Je adresse me vifs remerciements à mes encadreurs. Dr KHELLOU ABDE ARRZEK et Mr. REZIG DJEBAILI pour son compréhension, sa patience et son aide pour la réalisation de ce travail.***

***Je tente à remercier également, tout le personnel administratif et technique de laboratoire LTPS Ouargla et laboratoire LNHC Ouargla et laboratoire de béton de génie civil de l'université d'Ouargla surtout Mr. Ali Kshirde.***

***Enfin, me dernier remerciements, vont à tous ceux qui ont dit de près ou loin à l'aboutissement de ce travail.***

***Merci à tous***



## *Dédicace*

*Je dédie cet humble travail :*

*Qui m'a donné la vie*

*, À celui qui m'a pris tendrement, à cela*

*Qui a attendu patiemment les fruits de sa bonne éducation,*

*Pour ma chère mère.*

*À la personne qui a toujours été là pour moi,*

*Mon père*

*Mes chers frères et sœurs Ferdous, Ahmed et Qasim Amin*

*Surtout Yousri qui est toujours à mes côtés*

*Et à toutes mes tantes, Surtout mes tante Massouda et Taher.*

*Pour mon amie et ma sœur Amel*

*A' Jihad, Buthaina, et Omayma*

*En fin je dédie ce travail spécialement à Mohammed Abd*

*Elwahab qui m'a aidée avec toutes ses forces.*

***Fatima Lalem***

## ملخص

هذا العمل هو جزء من سياق استرداد وإعادة تدوير النفايات، وهو يتألف من دراسة تأثير إضافة رماد نفايات النخيل التي تم الحصول عليها في درجات حرارة الاحتراق المختلفة (CDPD) على الأداء الميكانيكي للملاط الاسمنت، والتي تستخدم ثلاث فئات من الرماد وهي: CDPD400 ، CDPD600 و CDPD800.

على المدى القصير، تكشف النتائج التي تم الحصول عليها أن القوة الميكانيكية لعينات الملاط المبنية على (الاسمنت + الرماد) لا تزال أدنى من قوة الملاط المرجع (الاسمنت فقط). أفضل قوة ضغط هي لعينات الملاط + 5% CDPD800. في حين قوة الشد الانحناء لعينات الملاط المختلفة سجلت قيمًا مماثلة.

**الكلمات المفتاحية:** إضافات الاسمنت، الرماد من أشجار النخيل، الملاط، قوة الضغط البسيطة، الشد بالانحناء.

## Abstract

This work is part of the context of the recovery and recycling of waste, It consists of examining the effect of the addition of the ashes of the date palm waste obtained at various combustion temperatures (CDPD) on the mechanical performance of the mortar cement, of which three classes of ash are used namely : CDPD400, CDPD600 and CDPD800

In the short term, the results obtained reveal that the mechanical strength of mortars based on (cement + ash) remains inferior to that of control mortar (cement-only). The best compressive strength is that of the mortar + 5% CDPD800. While flexural tensile strengths of different mortars recorded similar values.

**Key words :** Cement additions, ash from date palms, mortar, simple compressive strength, flexural tensile.

## Résumé :

Ce travail s'inscrit dans le contexte de la valorisation et du recyclage des déchets, Il consiste d'examiner l'effet de l'ajout des cendres des déchets palmiers dattiers obtenues à diverses températures de combustion (CDPD) sur les performances mécaniques du mortier du ciment, dont trois classes de cendre sont utilisées à savoir : CDPD400, CDPD600 et CDPD800

A court terme, les résultats obtenus décèlent que la résistance mécanique des mortiers à base de (ciment+cendre) reste inférieure à celle de mortier témoin (à base de ciment seul). La meilleure résistance à la compression est celle du mortier +5% CDPD800. Tandis que, les résistances à la traction par flexion des différents mortiers ont enregistré des valeurs voisines.

**Mots-clés :** ajouts cimentaires, cendres des déchets de palmiers dattiers, mortier, résistance compression simple, traction par flexion.

# SOMMAIRE

Liste des figures .....	I
Liste des tableaux .....	II
Liste des photos .....	III
INTRODUCTION GENERALE .....	.01

## Partie I : Synthés bibliographique

### Chapitre I: Ajouts cimentaires

I.1 Introduction .....	05
I.2 Ciment.....	05
I.2.1 Hydratation du ciment .....	05
I.3 Les ajouts minéraux .....	05
I.3.1 Définitions.....	05
I.3.1.2 Ajouts Cimentaires .....	06
I.3.1.2.1 Rôle des ajouts minéraux .....	07
I.3.1.2.2 Classification des ajouts.....	07
I.3.1.2.3 l'hydratation du ciment avec ajout .....	08
I.3.1.2.4 Hydratation et réaction pouzzolanique .....	08
I.3.2 L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil .....	09
I.3.2.1 Intérêt fonctionnel.....	09
I.3.2.2 Intérêt économique .....	09
I.3.2.3 Intérêt écologique et environnementaux.....	09
I.3.3 Principaux ajouts.....	10
I.3.3.1 Fillers calcaires .....	10
I.3.3.2 La poussière .....	11
I.3.3.3 pouzzolane .....	11
I.3.3.3.1 Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes .....	12
I.3.3.3.2 Propriétés hydrauliques.....	13
I.3.3.3.3 Propriétés physiques de remplissage .....	13
I.3.3.4 Fumée de silice .....	13
I.3.3.5 Laitier de haut fourneau .....	14

<b>I.3.3.6</b> Autres ajouts .....	15
<b>I.3.4</b> Utilisation des ajouts en Algérie .....	16
<b>I.4</b> Conclusion .....	16

## **Chapitre II: Généralités sur les cendres**

<b>II.1</b> Introduction .....	18
<b>II.2</b> Cendres volantes .....	18
<b>II.2.1</b> Composition chimique .....	18
<b>II.2.2</b> Provenance des cendres volantes .....	20
<b>II.2.3</b> Production des cendres volantes .....	20
<b>II.2.4</b> <b>Stockage les cendres volants</b> .....	21
<b>II.2.4.1</b> Cendres sèches .....	21
<b>II.2.4.3</b> Cendres liquéfiées .....	21
<b>II.2.4.2</b> Cendres humidifiées .....	21
<b>II.2.5</b> Utilisation des cendres volantes .....	21
<b>II.3</b> Cendre de foyer .....	23
<b>II.4</b> Cendre de biomasse.....	25
<b>II.5</b> Cendre de bois .....	25
<b>II.5.1</b> Utilisation de cendres de bois.....	27
<b>II.6</b> Cendres de papeterie .....	27
<b>II.7</b> Cendres des déchets des palmiers dattiers.....	2
<b>II.8</b> Conclusion.....	29

### **Partie II : Etude Expérimentale**

## **Chapitre III : Caractérisation des matériaux utilisés**

<b>III.1</b> Introduction .....	32
<b>III.2</b> Sable .....	32
<b>III.2.1</b> Analysegranulométrique du sable.....	33
<b>III.2.2</b> Masses Volumiques .....	34
<b>III.2.3</b> Absorption d'eau du sable .....	35

<b>III.2.4</b> Equivalent de sable .....	36
<b>III.2.5</b> Analyses chimique du Sable .....	37
<b>III.2.6</b> Essai Au Bleu De Méthylène.....	37
<b>III.3</b> L'eau .....	38
<b>III.4</b> Cendre des déchets de palmier dattiers.....	38
<b>III.4.1</b> Analyse chimique de la cendre .....	39
<b>III.4.2</b> Analyse granulométrique de la cendre .....	40
<b>III.5</b> Ciment.....	43
<b>III.6</b> Conclusion .....	45

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

<b>IV.1</b> Introduction .....	47
<b>IV.2</b> préparation des mortiers .....	47
<b>IV.2.1</b> confections des éprouvettes .....	49
<b>IV.3</b> Essais de la résistance mécanique .....	49
<b>IV.3.1</b> Résistance à La traction par flexion.....	49
<b>IV.3.2</b> Résistance à La compression .....	50
<b>IV.4</b> Analyse des résultats.....	51
<b>IV.4.1</b> Résistance à La compression .....	51
<b>IV.4.2</b> Résistance à La traction par flexion.....	54
<b>IV.5</b> Conclusion .....	56
Conclusion générale et Perspective .....	58

# Liste des figures

<b>Chapitre I</b>		
Les figures		page
Figure (I.1)	Ciment courant.	05
Figure (I.2)	Les fillers.	10
Figure (I.3)	Pouzzolane naturelle.	11
Figure (I.4)	Fumée de silice.	14
Figure (I.5)	Le laitier de haut fourneau.	14
Figure (I.6)	Schistes calcinés.	15
<b>Chapitre II</b>		
Les figures		page
Figure (II.1)	Le cendre volante, cendre silico-alumineuse.	19
Figure (II.2)	La cendre volante, cendre silico- calcique.	19
Figure (II.3)	Illustration du pouvoir pouzzolanique des cendres volantes.	20
Figure (II.4)	Evolution des résistances la compression (Rc) des mortiers en fonction du temps.	22
Figure (II.5)	Evolution des résistances à la traction par flexion (Rt) des mortiers en fonction du temps.	23
Figure (II.6)	Capture des cendres dans un central thermique.	24
Figure (II.7)	Schéma de principe d'une chaufferie bois.	26
Figure (II.8)	Diagramme ternaire CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub> .	26
Figure (II.9)	Les déchets des palmiers Dattier.	28
Figure (II.10)	Cendre des déchets Des palmiers dattier.	28



Figure (II.11)	Influence de la cendre de palmier sur différents bétons (B20, B50)	29
<b>Chapitre III</b>		
Les figures		page
Figure (III.1)	la différente fraction contenant dans un sable normalisé	32
Figure (III.2)	Courbe granulométrique du sable	34
Figure (III.3)	les étapes d'essai d'absorption d'eau du sable.	35
Figure (III.4)	Appareillage et les éprouvette de l'équivalent de sable normalisé.	36
Figure (III.5)	Exécution de l'essai au bleu de méthylène	38
Figure (III.6)	Etapas de préparation la cendre des déchets de palmier dattiers.	39
Figure (III.7)	Analyse chimique de cendre	40
Figure (III.8)	les différentes fractions des diamètres contenant dans des cendres .	40
Figure (III.9)	la courbe de l'analyse granulométrique de la cendre dans tempirateur 800c°	41
Figure (III.10)	la courbe de l'analyse granulométrique de la cendre dans tempirateur 600c°	42
Figure (III.11)	la courbe de l'analyse granulométrique de la cendre dans tempirateur 400c°	42
Figure (III.12)	Ciment portland.	43
Figure (III.13)	Début prise de ciment.	44
Figure (III.14)	Fin prise de ciment.	44
<b>Chapitre IV</b>		
Les figures		page
Figure (IV.1)	Résistance mécanique à la traction par flexion.	50
Figure (IV.2)	Résistance mécanique à la compression.	50

Figure (IV.3)	l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour 5% de CPPD.	51
Figure (IV.4)	l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour 10% de CPPD.	52
Figure (IV.5)	l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour 15% de CPPD.	52
Figure (IV.6)	l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour une CPPD800°C.	53
Figure (IV.7)	L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour 5% de CPPD.	54
Figure (IV.8)	L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour 10% de CPPD.	54
Figure (IV.9)	L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour 15% de CPPD.	55
Figure (IV.10)	l'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour une CPPD800.	56

# Liste des Tableaux

<b>Chapitre I</b>		
Les tableaux		page
Tableau (I.1)	Les anhydres et les hydrates de ciment.	06
Tableau (I.2)	Classification des ajouts selon leur réactive.	07
Tableau(I.3)	Compositions chimiques de pouzzolanes.	12
Tableau (I.4)	Composition chimique type de laitiers de haut fourneau.	15
Tableau (I.5)	Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes.	16
<b>Chapitre II</b>		
Les tableaux		page
Tableau(II.1)	Fourchette de variation de la composition chimique de cendre volante.	18
Tableau(II.2)	Composition chimique d'une cendre de foyer de JLEC (MAROC).	23
Tableau(II.3)	Les résultats moyens des essais réalisés sur le mélange Cendre de foyer (CF)-Scories.	24
<b>Chapitre III</b>		
Les tableaux		page
Tableau (III.1)	présent la quantité de sable dans les tamis.	32
Tableau (III.2)	Analyse granulométrique du sable normalisé.	33
Tableau (III.3)	Modules de finesse à différents fuseaux.	34
Tableau (III.4)	Masses volumiques apparentes et absolues de sable utilisées.	35
Tableau(III.5)	Le Résultat d'équivalent de sable normalisé.	37
Tableau(III.6)	Résultats d'analyse chimique pour le sable normalisé.	37

Tableau(III.7)	Analyse chimique sommaire de la CDPD.	40
Tableau(III.8)	présentation la quantité de cendre dans tempirateur 800c° dans les tamis .	41
Tableau (III.9)	présentation la quantité de cendre dans tempirateur 600c° dans les tamis.	41
Tableau (III.10)	présentation la quantité de cendre dans tempirateur 400c° dans les tamis .	42
Tableau (III.11)	Analyses chimiques du ciment.	43
Tableau (III.12)	Composition minéralogique.	45
<b>Chapitre IV</b>		
Les tableaux		page
Tableau (IV.1)	Les compositions des mortiers étudiées.	47
Tableau(IV.2)	Les résultats de temps d'écoulement de mortier et leur Classification.	48

# Liste des photos

<b>Chapitre III</b>		
Les photos		page
photo (III.1)	la différente fraction contenant dans un sable normalisé	32
photo (III.3)	les étapes d'essai d'absorption d'eau du sable.	35
photo (III.4)	Appareillage et les éprouvette de l'équivalent de sable normalisé.	36
photo (III.5)	Exécution de l'essai au bleu de méthylène	38
photo (III.6)	Etapes de préparation la cendre des déchets de palmier dattiers.	39
photo (III.7)	Analyse chimique de cendre	40
photo (III.12)	Ciment portland.	43
photo (III.13)	Début prise de ciment.	44
photo (III.14)	Fin prise de ciment.	44
<b>Chapitre IV</b>		
Les photos		page
photo (IV.1)	Essai d'écoulement au maniabilimetre.	48
photo (IV.2)	Les Etapes de confection des eprouvettes	49

# **Introduction générale**

# Introduction générale

Le mortier de ciment est un matériau intensivement utilisé dans le domaine de construction. L'amélioration de ses performances mécaniques est un souci permanente des chercheurs en la matière. Cette amélioration peut s'effectuer en jouant sur plusieurs paramètres tel que l'addition d'autres matériaux comme des correcteurs granulaires ou des produits comme des ajouts cimentaires.

L'association du ciment avec certains ajouts cimentaires normalisés (cendre volante, laitier de haut fourneau, fumée de silice, pouzzolane, Fillers calcaires ...) en raison de leurs caractéristiques physiques et chimiques n'est pas nouvelle. Elle mène souvent à l'accroissement de la résistance mécanique du mortier et du béton, et ce qui est prouvé par nombreux travaux de recherche.

En s'inspirant de ce qui a été fait avec les cendre volante, cendres de foyer, cendres de bois ..., l'idée de l'incorporation de cendres des déchets de palmier dattiers (CDPD) dans la matrice cimentaire entre dans le contexte de l'amélioration de certaines propriétés mécaniques du mortier, d'une part, et la valorisation les déchets de palmiers qui se trouvent en abondance dans les palmeraies de notre région, d'autre part.

Des travaux réalisés par Rezig (2012) ayant comme objectif d'étudier l'efficacité de l'ajout de la cendre issue **de combustion ordinaire à l'air libre des déchets de palmiers dattiers** afin de fabriquer un béton de haute performance à base de sable de dunes ont donné des résultats encourageant pour continuer la recherche sur cette cendre comme ajout cimentaire.

L'objectif principal de ce travail est d'examiner l'effet des cendres obtenues à diverse température de combustion (400,600 et 800) des déchets de palmiers dattiers sur la résistance mécanique des mortiers.

Ce manuscrit comporte quatre chapitres :

- le premier chapitre donne un aperçu général sur les ajouts cimentaires, leurs définitions et leurs intérêts.
- le deuxième chapitre met l'accent sur quelques types de cendres et leurs domaines d'utilisation.
- le troisième chapitre est focalisé sur tout ce qui est caractérisation des matériaux et des produits utilisés

- le dernier chapitre aborde l'évolution dans le temps de la résistance à la compression et la résistance à la flexion du mortier à base de ciment et la cendre des déchets de palmier dattiers.

Enfin, sur la base des résultats obtenus, conclusion générale est dressée et des perspectives sont données.



**Partie I**

**Synthèse Bibliographique**

# **Chapitre I**

## **Ajouts cimentaires**

### I.1 Introduction

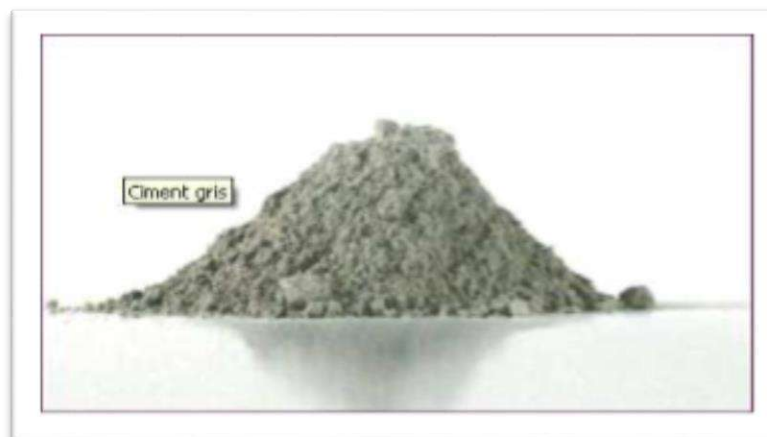
Le ciment est un matériau de base dans les secteurs du bâtiment et du génie civil. Il est utilisé dans la fabrication du béton. C'est un matériau de construction durable, versatile et totalement recyclable.

L'amélioration de la qualité du ciment et la réduction de son coût de fabrication sont les soucis des fabricants. Ceci peut se faire par l'ajout cimentaire de certains produits naturels ou déchets industriels tels que le fumé de silice, laitier de haut fourneau, pouzzolane, cendre volante...

Ce chapitre est focalisé sur le rôle que peuvent jouer les ajouts dans matrice cimentaire d'une façon générale et sur l'énumération de quelques ajouts les plus connus.

### I.2 Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, (figure I.1) c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise par suite de réaction et processus d'hydratation et qui après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. (Catinaud .2000).



**Figure (I.1) : ciment courant. (Catinaud .2000).**

#### I.2.1 Hydratation du ciment

L'étude des réactions d'hydratation des composants du ciment dissocie artificiellement des mécanismes dont le déroulement est, dans les faits, simultané.

Le contact du ciment avec l'eau déclenche un mécanisme d'hydratation complexe qui a été étudié pour la première fois par Henri Lechatelier (1887). Schématiquement, Lechatelier a décrit trois étapes relatives à la prise du ciment (Sedan ,2007).

-L'adsorption physique et chimique de l'eau par les grains de ciment.

- La dissolution ou solvatation, des grains de ciment ou phases Anhydres, en présence d'eau.
- La précipitation des phases hydratées.

Hydratation du ciment fait intervenir les réactions de ses constituants avec l'eau de gâchage. Les anhydres du ciment vont réagir avec l'eau du gâchage pour former des hydrates. Ces anhydres se sont principaux minéraux de clinker. Les anhydres et les hydrates sont résumés dans le tableau (I.1) ci-dessous :

**Tableau (I.1) : Les anhydres et les hydrates de ciment (Dreux ; 1998).**

Notation Abrégée	Formule Chimique en oxyde	dénomination
C <sub>3</sub> S	(CaO) <sub>3</sub> -SiO <sub>2</sub>	Silicate tricalcique
C <sub>2</sub> S	(CaO) <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub>	Silicate bicalcique
C <sub>3</sub> A	(CaO) <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminate tricalcique
C <sub>4</sub> AF	(CaO) <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminoferrite tétracalcique
CH	Ca(OH) <sub>2</sub>	Portlandite
C-S-H	(CaO) <sub>x</sub> -SiO <sub>2</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>y</sub>	Silicate de calcium hydraté
C <sub>3</sub> A.(C S) <sub>3</sub> .H <sub>32</sub>	(CaO) <sub>6</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(SO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>32</sub>	Ettringite ou "Aft"
C <sub>3</sub> A.(C S).H <sub>12</sub>	(CaO) <sub>6</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(SO <sub>3</sub> )-(H <sub>2</sub> O) <sub>12</sub>	Monosulfoaluminate de calcium hydrate ou "Afm"
C <sub>2</sub> AH <sub>8</sub>	(CaO) <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>8</sub>	Aluminate dicalcique hydraté
C <sub>3</sub> AH <sub>6</sub>	(CaO) <sub>3</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub>	Aluminate tricalcique hydraté
C <sub>4</sub> AH <sub>13</sub>	(CaO) <sub>4</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -(H <sub>2</sub> O) <sub>13</sub>	Aluminate tétracalcique hydraté

### I.3 Les ajouts minéraux

#### I.3.1 Définitions

##### I.3.1.1 Ajouts Cimentaire

Les ajouts cimentaires sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment Portland et donnent ses propriétés au béton, grâce à une activité hydraulique et/ou pouzzolanique. (Dreux ; 1998). Parmi les ajouts les plus connus, on peut citer :

- les cendres volantes,
- Fillers calcaires,
- La poussière,
- le laitier granulé de haut fourneau (LGHF),
- les fumées de silice,
- pouzzolanes.

### I.3.1.2.1 Rôle des ajouts minéraux

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

### I.3.1.2.2 Classification des ajouts

Les ajouts peuvent être naturels ou artificiels, inertes ou actifs. Les ajouts peuvent réagir en tant que matériau hydraulique, hydraulique latent ou pouzzolanique, ou encore sous forme de fillers. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau (I.2).

**Tableau (I.2) : Classification des ajouts selon leur réactivité (Chaouche et al 2011).**

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granule-cendre volantes riche en calcium (calciques)
pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, trass phonolithe, terres à diatomées)
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire,...)fibres, pigments colorants, matières expansives.
		Dispersions synthétique

### I.3.1.2.3 l'hydratation du ciment avec ajout

Les différents ajouts minéraux affectent la cinétique de la réaction d'hydratation en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que la forme de leur élément. La réaction pouzzolanique se produit par consommation de portlandite, la fumée de silice (SiO<sub>2</sub>) permet une réduction de la teneur en Ca(OH)<sub>2</sub> et par conséquent une augmentation de la résistance du mélange.

En même temps que l'on mélange le clinker portland et le laitier de haut fourneau, une petite réaction immédiate du laitier se produit et libère des ions calcium et aluminium dans la solution. Par la suite, le laitier de haut fourneau réagit avec les hydroxydes alcalins puis avec l'hydroxyde de calcium libéré par le clinker Portland pour former alors les CSH. (Amine ; 1998).

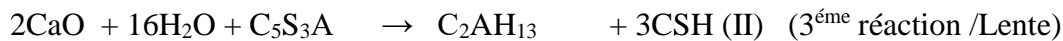
Les réactions d'hydratation du ciment et des pouzzolanes donnent :



Ciment      eau      silicate de calcium hydraté      portlandite



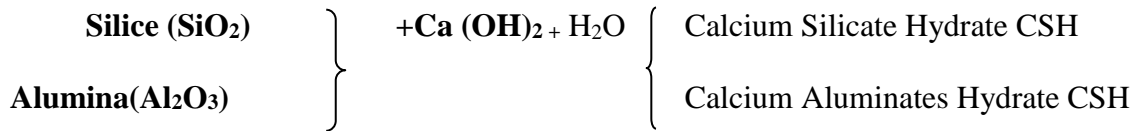
Portlandite    eau    pouzzolane                      Silicate de calcium hydraté



Chaux    eau    Laitier                      Aluminate      Silicate de calcium hydraté

### I.3.1.2.4 Hydratation et réaction pouzzolanique :

Les réactions d'hydratation du ciment et de la pouzzolane peuvent être considérées séparément, bien que dans une certaine mesure elles se produisent en même temps. En fait la réaction pouzzolanique, qui est plus lente que la réaction d'hydratation du ciment, peut avoir lieu seulement après l'hydrolyse de c<sub>3s</sub> et c<sub>2s</sub> qui forment l'hydroxyde de calcium. Il est à noter que la première est une réaction de consommation de chaux, tandis que la dernière est une réaction de production de chaux. En ce qui concerne la réaction pouzzolanique, puisque les composants principaux sont SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et CaO, les produits de l'hydratation du ciment pouzzolanique sont semblables à ceux de l'hydratation du ciment Portland, ces produits sont le silicate de calcium hydraté (CSH) et l'aluminate de calcium hydraté (CAH) qui sont les produits de la réaction entre la silice et l'alumine de la pouzzolane avec l'hydroxyde de calcium. (Day et al ; 2000).



### I.3.2 L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil :

Intérêt L'utilisation des ajouts cimentaires dans les industries du ciment, béton et de mortier ou quel que soit le mortier présente des avantages techniques, économiques et écologiques :

#### I.3.2.1 Intérêt fonctionnel

- Incorporation des particules fines améliore la maniabilité et réduit la demande en eau (à l'exception des ajouts d'une grande finesse)
- Il y a une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton
- Il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.
- Ils peuvent modifier la nature et la texture des hydrates formés.
- Prise et durcissement pour les ajouts qui interviennent dans le processus réactionnel du ciment avec l'eau.

#### I.3.2.2 Intérêt économique :

La plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits de différentes industries et leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation).

- Comme la production du ciment est un grand consommateur d'énergie, son remplacement par des ajouts minéraux réduit le prix du béton ou mortier pour le coût du combustible.

#### I.3.2.3 Intérêt écologique et environnementaux

- Diminution de l'émission du CO<sub>2</sub> par l'industrie cimentière.
- Élimination des sous-produits de la nature.

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique. De fait, le remplacement du ciment Portland par les ajouts cimentaires réduit d'autant les émissions de CO<sub>2</sub>. (**Chaouche et all ; 2011**).

### I.3.3 Principaux ajouts

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à 60  $\mu\text{m}$  ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (N F P 18- 305).

En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégats. Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau, ...). Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière. (Chaouche et all ; 2011).

#### I.3.3.1 Fillers calcaires

Fillers calcaires sont des poudres fines (Figure I.2) à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, cendres volantes...).



**Figure (I.2) : Les fillers (Chaouche et all).**

Les fillers se différencient les uns des autres par :

- leur origine.
- leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure, les impuretés qu'ils contiennent.
- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface.
- leur dureté, leur porosité.



Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. (**Chaouche et all ; 2011**).

### **I.3.3.2 La poussière**

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm<sup>2</sup>/g. le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le fluage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout. (**Chaouche et all ; 2011**).

### **I.3.3.3 pouzzolane**

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche. Elle possède une structure alvéolaire. La pouzzolane est généralement rouge ou noire, Capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes (**Venuat ; 1989**).

Les normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments :

#### **▪ pouzzolane naturelle :**

Les pouzzolanes naturelles sont des produit généralement d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés pouzzolaniques. Elles sont essentiellement composées de silice réactive dans des proportions supérieures à 25%, d'alumine et d'oxyde de fer.



**Figure (I.3) : pouzzolane naturelle (KIRPACH, 2001).**

### ▪ Pouzzolane artificielle :

C'est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques.

Les roches traitées thermiquement : argiles, schistes, latérite, bauxite et moler. Le professeur Massaza classe les pouzzolanes en trois catégories, (**Venuat ; 1989**) :

-Les constituants actifs : phase vitreuse plus au moins altérée, opale, terre de diatomées, zéolites cristallisées.

-Les constituants inertes : phase cristallisée autre que les zéolites.

-Les constituants nocifs : substances organiques et argiles gonflantes.

Domaine élargi des compositions chimiques des pouzzolanes (surtout d'origine volcanique), Est donné dans le tableau suivant :

**Tableau (I.3) : Les compositions chimiques de pouzzolanes (PICHON et all, 1996).**

Elément	Pourcentage
SiO <sub>2</sub>	42-73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-20
CaO	1-10
MgO	1-3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-14
Alcalins	1-8

#### I.3.3.3.1 Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes

Les pouzzolanes sont des roches " acides " ayant des teneurs élevées en silice et en alumine (entre 70 et 80% pour les deux composants ensemble), puis en fer, en alcalins, en magnésie et en chaux.

Les pouzzolanes naturelles d'origine sédimentaire ont des teneurs en silice encore plus élevées (cas des squelettes siliceux de micro-organismes).

Les quantités de chaux sont limitées, ce qui explique par ailleurs, la capacité des Pouzzolanes à fixer la chaux. (**Chaouche et all ; 2011**).

Les pouzzolanes sont formées surtout d'éléments vitreux. Elles sont plus au moins réactives. La réactivité est l'aspect chimique de fixation de la chaux.

L'activité pouzzolanique s'explique par une attaque lente de la silice et de l'alumine des pouzzolanes par l'hydroxyde de chaux (portlandite).

Des tests chimiques basés sur la quantité de chaux absorbée ou sur la vitesse de fixation ne suffisent pas pour déterminer la réactivité pouzzolanique.

D'autre part, la connaissance séparée des propriétés de chacun des constituants ne permet pas de prévoir le comportement des mélanges. Seuls les résultats des essais de l'évolution des résistances mécaniques dans le temps permettent de conclure (**Venuat ; 1989**).

Tous les matériaux appelés « pouzzolanes » ne possèdent pas forcément cette propriété, On peut dans certains cas, activer les pouzzolanes par certains procédés : ajouts de produits chimiques. Broyage à une finesse plus élevée. Traitement thermique en plus de ces caractéristiques, on cite les propriétés suivantes :

### **I.3.3.3.2 Propriétés hydrauliques**

La pouzzolane réagit avec l'eau, en présence d'une quantité suffisante de chaux, pour former des hydrates stables, peu solubles et résistants à long terme.

### **I.3.3.3.3 Propriétés physiques de remplissage**

En plus de leur effet pouzzolanique, elles jouent un rôle de remplissage des pores des produits hydratés et de correcteurs granulaires, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité.

### **I.3.3.4 Fumée de silice**

Les fumées de silice (figure I.4), constituées de particules environ 100fois plus petites que les grains de ciments avec un diamètre moyen de l'ordre de 1/10 de micron, présentent des propriétés pouzzolanique en raison de leur forte teneur en silice amorphe. En outre, en raison de leur finesse, elles compètent la granulométrie des ciments .ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique des fumées de silice.

Elles doivent contenir au moins 85%de silice réactive, la réaction pouzzolanique s'avérant plus élevée que celles des pouzzolane naturelles ou cendres volantes. (**Chaouche et all ; 2011**).

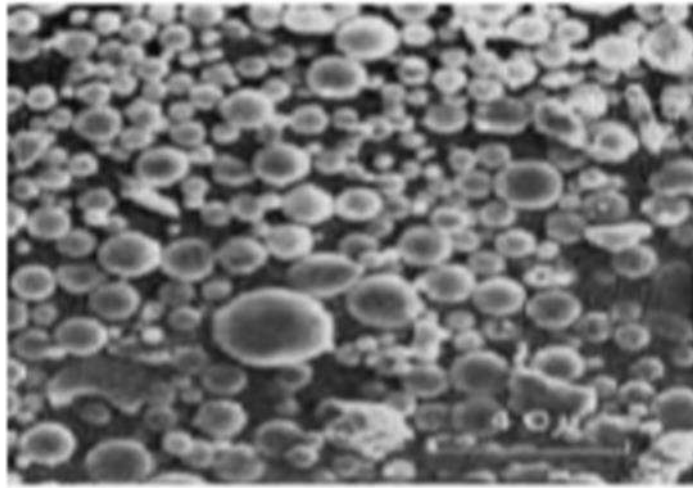


Figure (I.4) : fumée de silice (KIRPACH ; 2001).

#### I.3.3.5 Laitier de haut fourneau

C'est un résidu minéral de la préparation de la fonte dans les hauts fourneaux à partir du minerai et du coke métallurgique, les laitiers sont formés de constituants non ferreux, des fondants et des cendres de coke. Leur composition en oxydes et leur structure vitreuse obtenue par trempe à l'eau leur confèrent des propriétés hydrauliques latentes, Il sort du trou de coulée à une température de l'ordre de 1500°C. Figé par refroidissement brusque il donne un produit granulé qui est ajouté au clinker en proportion variable pour être broyé finement avec lui. Le laitier est un véritable ciment manifestant lui-même des propriétés.

Hydrauliques, grandement activés d'ailleurs par la présence du clinker. Son hydratation, qui se traduit par le développement des résistances mécaniques est moins rapide que celle du Portland surtout dans sa période initiale. Elle dégage parallèlement moins de chaleur et accuse une sensibilité plus marquée aux variations de température (abaissement ou élévation). (Dreux ; 1998).



Figure (I.5) : Le laitier de haut fourneau (site de lerm).

Tableau (I.4) : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau. (Aitcin ; 1968) :

OXYDES	Laitier français	Laitier nord USA	Laitier algérien
SiO <sub>2</sub>	29 à 36	33 à 42	38 à 42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13 à 19	10 à 16	8 à 12
CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4%	0.3 à 20	2.0
MgO	6%	3 à 12	4.7
S	1.5%		0.15

La réactivité du laitier peut être augmentée de trois façons :

- Broyage poussé.
- Chaleur (étuvage, autoclavage).
- Produits chimiques (la chaux, la soude (Na OH) ou des sels de soude, Le sulfate de calcium ((gypse)).

### I.3.3.6 Autres ajouts

Schistes calcinés : Ces produits, obtenus à des températures de l'ordre de 8000C°présentent, outre leurs propriétés pouzzolanique, des propriétés hydraulique lorsqu'ils sont finement broyés.



Figure (1.6) : Schistes calcinés (Wikipédia).

### I.3.4 Utilisation des ajouts en Algérie

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni – Saf. Le tableau (I.5) donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes. (Aichouba ; 2005).

**Tableau (I.5) : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes (Aichouba ; 2005) :**

<b>Entreprise</b>	<b>cimenterie</b>	<b>Ajout utilisés</b>
<b>ERCE</b>	<b>Ain Touta</b>	<b>Pouzzolane</b>
	<b>Ain EL kebira</b>	
	<b>Hamma Bouziane</b>	
	<b>H'djarEssaoud</b>	<b>Laitier</b>
	<b>Tebessa</b>	
<b>ECDE</b>	<b>Meftah</b>	<b>Calcaire / tuf</b>
	<b>Raïssa Hamidou</b>	<b>Poussière</b>
	<b>Sour ELGhozlane</b>	<b>Calcaire / tuf</b>
<b>ECDE</b>	<b>Clef</b>	<b>calcaire</b>
<b>ERCO</b>	<b>Ben Saf</b>	<b>pouzzolane</b>
	<b>Zahana</b>	
	<b>Saida</b>	

### I.4 Conclusion

Le ciment est un matériau de base dans les secteurs du bâtiment et du génie civil. L'addition aux ciment certains ajouts minéraux (tels que : le laitier de haut fourneau, pouzzolane , fumé de silice cendre volante ...)souvent est dans l'objectif principal d'améliorer les propriétés mécaniques des béton et des mortiers sans oublier les intérêts économiques et écologique.

Les ajouts minéraux affectent la cinétique de la réaction d'hydratation en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que la forme de leur élément. La réaction pouzzolaniques se produit par consommation de Portlandite par conséquent une augmentation de la résistance du mélange.



# **Chapitre II**

## **Généralités sur les cendres**



## II.1 Introduction

Les cendres sont des résidus principalement basiques de la combustion, de l'incinération, des divers déchets brûlés dans les incinérateurs, en plein air ou dans les cheminées ou fours.

En effet, certains de ces déchets contiennent des éléments très dangereux vis-à-vis de l'environnement et de la santé humaine comme les métaux lourds. Malgré leur stockage en terrils.

Dans ce chapitre, nous essayons citer quelques types des cendres et leur utilisation dans les domaines de la construction. (Martin, 2015).

## II.2 Cendres volantes

Les cendres volantes constituent un produit minéral pulvérulent résultant du dépoussiérage des fumées rejetées par les centrales thermiques qui utilisent du charbon broyé comme combustible. Elles possèdent la propriété d'être pouzzolaniques (cendres volantes silico-alumineuses) provoquent, en présence de la chaux, la formation de composés ayant des propriétés liantes comparables à celles d'un liant hydraulique. (AFECHKAR et al).

### II.2.1 Composition chimique

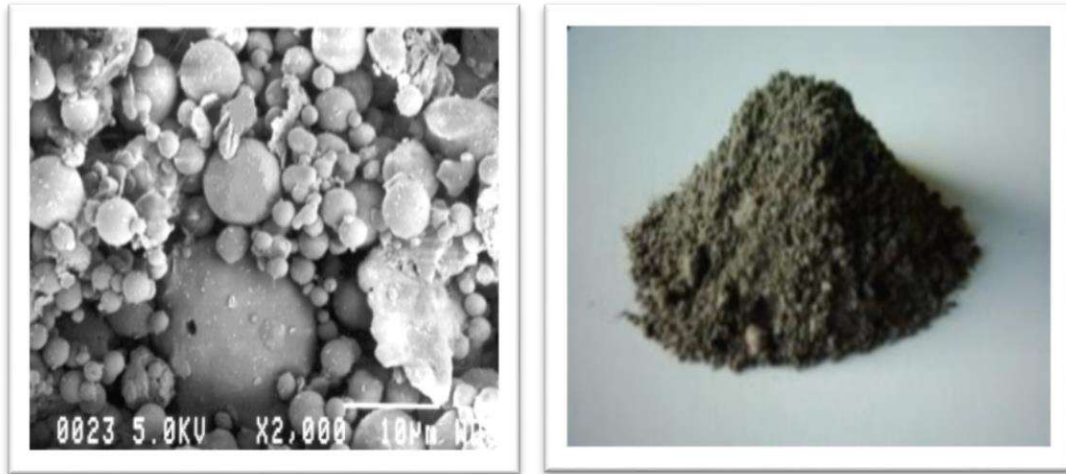
Les cendres volantes sont principalement composées de silice, d'alumine et de petites quantités d'oxydes alcalins et alcalino-terreux, y compris la chaux à l'état composite (tableau II.1). Leur composition chimique varie en fonction de la source de charbon.

**Tableau(II.1) : fourchette de variation de la composition chimique de cendre volante (AFECHKAR et al).**

SiO <sub>2</sub>	43	à	54 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22	à	32 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub>	4	à	15 %
CaO	1	à	8 %
MgO	1	à	3 %
K <sub>2</sub> O	2	à	5 %
Na <sub>2</sub> O	0.5	à	1 %
SO <sub>3</sub>	0.2	à	2 %

Généralement, on distingue deux classes des cendres volantes sont définies près :

- les cendre volantes **cendre silico-alumineuse** qui ont des propriétés pouzzolanique (Figure II.1).



**Figure (II.1) : le cendre volante, cendre silico-alumineuse (HAZIME ; 2011).**

- les cendre volantes **cendre silico-calciq**ue qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolanique (Figure II.2).



**Figure (II.2) : la cendre volante, cendre silico- calciq (HAZIME ; 2011).**

A la température ordinaire, les cendres volantes fixent la chaux pour donner un liant hydraulique faisant prise en présence d'eau. Ce pouvoir pouzzolanique Figure (II.2) se manifeste par deux phénomènes :

-Combinaison avec la chaux donnant des composés insolubles, durcissement.

-Cette propriété est utilisée pour l'emploi des cendres volantes en couches de Chaussées.  
(AFECHKAR et all).

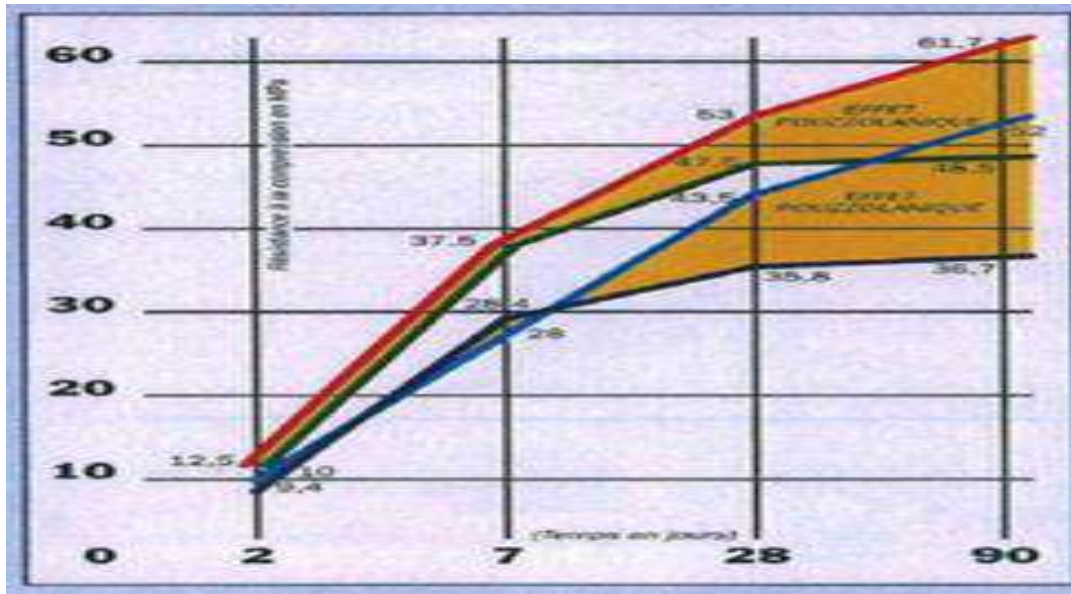


Figure (II.3) : Illustration du pouvoir pouzzolanique des cendres volantes.

## II.2.2 Provenance des cendres volantes

Les cendres volantes sont les particules non combustibles entraînées par les fumées lors de la combustion du charbon pulvérisé dans les chaudières des centrales thermiques.

Pour réduire la pollution atmosphérique, les cheminées de ces centrales sont équipées de dépoussiéreurs qui captent les cendres pour éviter leur dispersion dans l'atmosphère. (Site de Lerm).

## II.2.3 Production des cendres volantes

Pour brûler dans une chaudière, le charbon est traité : mélange, pulvérisation, et lavage pour éliminer autant de matière minérale incombustible que possible. Tout en accroissant le pouvoir calorifique du charbon, cela réduit la quantité de cendres produites lors de la combustion.

Les fumées de combustion du charbon pulvérisé passent par des dépoussiéreurs électrostatiques qui, complétés par des filtres à manche, parviennent à un rendement de 80 à 90 % de dépoussiérage.

Le temps nécessaire au processus de combustion du charbon, à la fusion, au transport des gaz vers les filtres et à la resolidification des particules est de l'ordre de quelques secondes. (Site de Lerm).

### II.2.4 Stockage les cendres volants

Les cendres peuvent être stockées de trois façons :

#### II.2.4.1 Cendres sèches

Captées à la base des cheminées, les cendres sont totalement exemptes d'eau. Ces cendres sèches demandent un mode de transport spécifique aux produits pulvérulents secs et elles sont stockées à l'abri de l'eau.

#### II.2.4.2 Cendres humidifiées

Une fois humidifiées, le transport des cendres par camion ou wagon devient possible. Ces cendres peuvent être stockées en plein air.

#### II.2.4.3 Cendres liquéfiées

Ces cendres sont acheminées par voie hydraulique dans des bassins de décantation. Certaines se drainent peu et peuvent présenter après décantation, des teneurs en eau supérieures à 50 %. Les deux derniers modes de stockage ne sont pas adaptés aux cendres calciques qui présentent un pouvoir hydraulique. Pour les cendres siliceuses stockées en plein air, il existe des installations spécifiques de séchage, qui permettent de fournir des cendres sèches à la demande. (**Site de Lerm**).

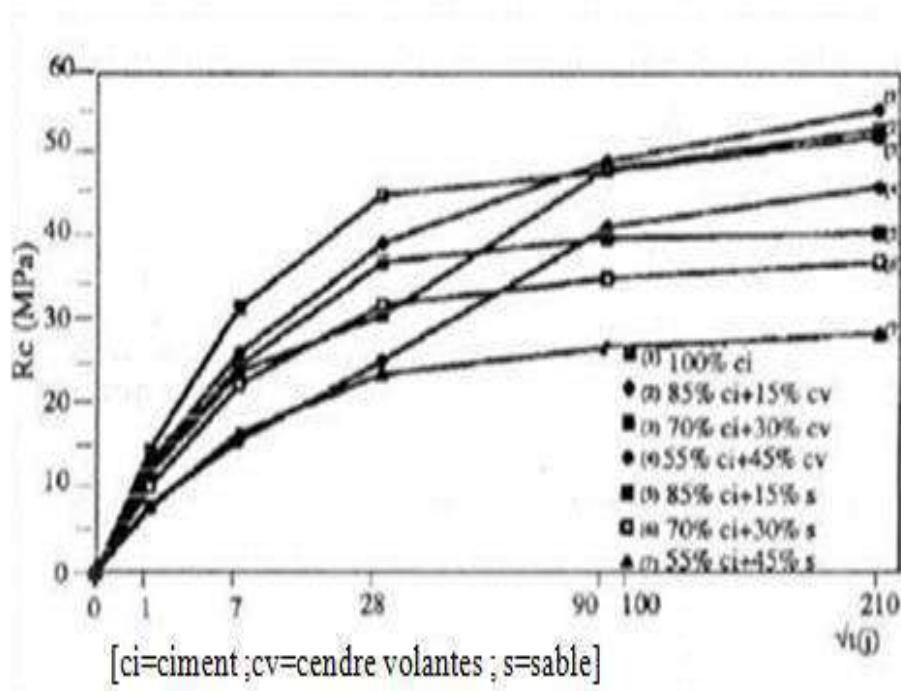
### II.2.5 Utilisation des cendres volantes

Les cendres volantes ont souvent été utilisées en :

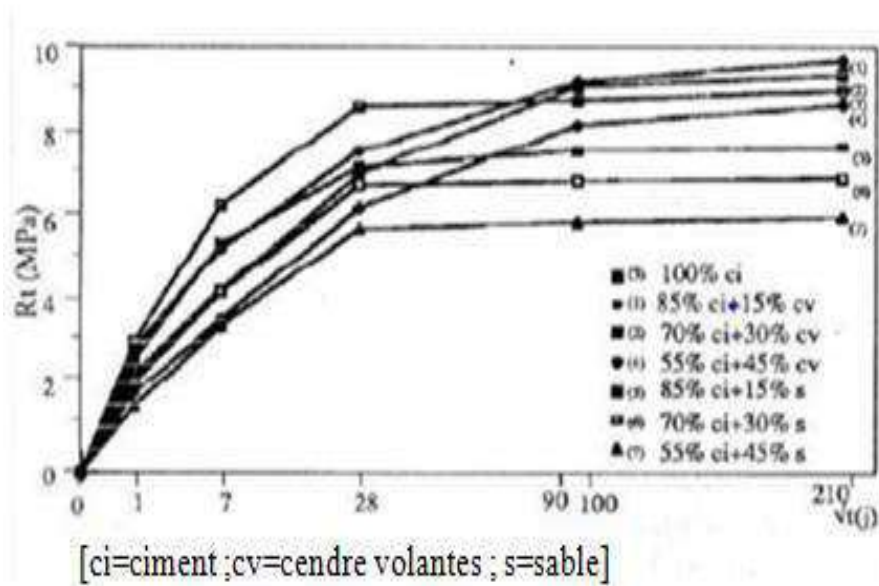
- Pour Béton (la cendre s'y substitue au sable ou au clinker).
- Remblai et matériau de comblement ou lissage (en construction routière principalement et pour combler des tranchées).
- Joint de carrelage .
- Remblais fluides/Matériau de Remplissage à Faible Résistance (MRFR).
- Stabilisation /solidification de déchets.
- Clinkers de ciments (la cendre y remplace partiellement l'argile).
- Matériau de Comblement de mines et autres cavités.
- Stabilisation de sols mous (argileux).
- Sous-couche routière.
- diction de brique (la cendre y joue un rôle d'agrégat de substitution.

Concernant l'effet de l'ajout de la cendre volante aux mortiers de ciment nous pouvons évoquer ici l'étude réalisée par **MOURAD TEMIMI** (chercheur, laboratoire GTMa, INSA de Rennes, France) qui a comme objectif d'apprécier l'action des cendres volantes entrant dans la composition des mortiers. Cette étude montre que les cendres se comportent d'une part comme des inertes et d'autre part comme un matériau pozzolanique.

Le chercheur a constaté que l'évolution des résistances (compression ou traction) des différents mortiers au cours du temps pour la même proportion de liant (ciment), les éprouvettes de mortier constituées de cendres manifestent une réactivité due à leur caractère pozzolanique et intervenant après 28 jours de durcissement environ (figure 4 et 5).



Figure(II.4) : Evolution des résistances à la compression ( $R_c$ ) des mortiers en fonction du temps.



**Figure(II.5) : Evolution des résistances à la traction par flexion ( $R_t$ ) des mortiers en fonction du temps.**

Alors que la valeur maximale de la résistance des mélanges témoins est pratiquement atteinte, les résistances des échantillons contenant les cendres continuent à progresser si bien qu'elles deviennent plus élevées (figure II. 4 et II.5).

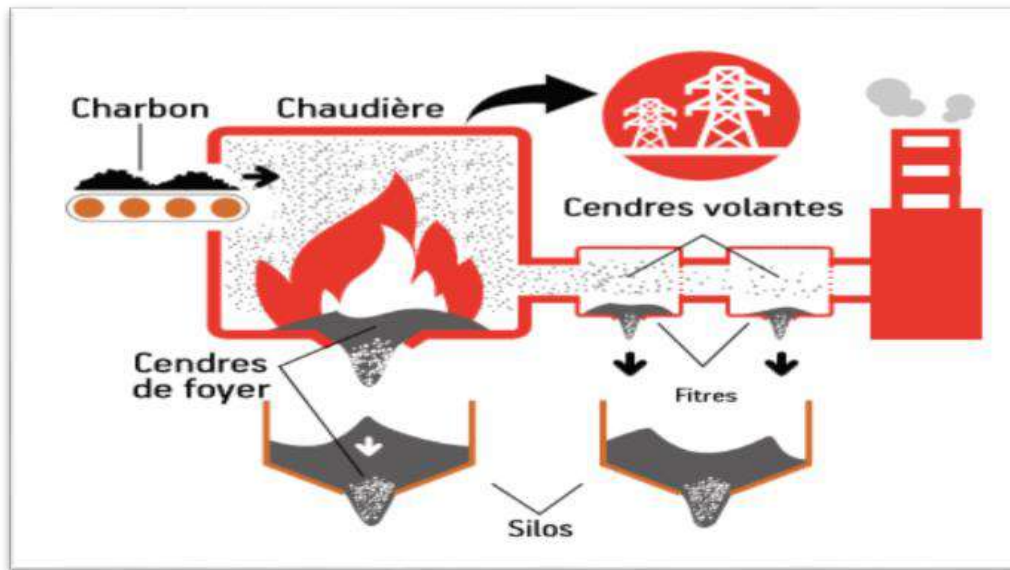
### II.3 Cendre de foyer

Les cendres des foyers sont des sous-produits des centrales thermiques au charbon, récupérés à la base des fours. Elles se présentent sous la forme d'un sable plus ou moins scoriacé de dimension comprise entre 30 $\mu$ m et 30mm, avec parfois quelques rares éléments pouvant aller jusqu'à 100mm. (PREDIS ; 2018).

**Tableau (II.2) : composition chimique d'une cendre de foyer de JLEC (MAROC) (Souad et al ; 2015).**

Oxydes(%)	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PbO	SO <sub>3</sub>	CaO libre	PAF
Cendre de foyer	50	9.7	24.3	2.14	1.09	0.41	2.2	0.01	1.87	0.29	0.3

Cendres de foyers sont largement utilisées dans toutes les couches des structures routières comme des remblais ou assises de chaussées.



**Figure (II.6) : capture des cendres dans un central thermique. (FICHE .2015).**

Dans le travail de **Souad 2015** réalisé dans l'université de Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences, El Jadida, Maroc, Ecole Hassania des Travaux Publics, Casablanca, Maroc, elle montre que le mélange des cendres de foyer de JLEC et des scories de Sonasid permet d'aboutir à des performances mécaniques intéressantes qui favorisent leur utilisation dans la couche de fondation d'une chaussée routière.

Les résultats de ce travail montrent que l'influence des scories est très significative sur la résistance à la compression, sur le gonflement et sur la portance du mélange. La résistance en compression du mélange CF-Scories augmente en fonction des pourcentages des scories ce qui est en toute vraisemblance dû à la présence de la chaux dans la composition des scories (tableau II.3).

Le CBR sec a pu atteindre des valeurs énormes qui dépassent ceux obtenus lors du traitement des CF à la chaux. La même remarque est avancée pour le CBR humide qui a, contrairement aux granulats naturels, connu une nette amélioration (tableau II.3). Par ailleurs, le gonflement a légèrement augmenté avec le pourcentage en scories. Toutefois les valeurs enregistrées sont très faibles par rapport à ceux exigées pour une éventuelle utilisation dans le domaine routier.

**Tableau(II.3) : résultats moyens des essais réalisés sur le mélange Cendre de foyer(CF)-Scories.**

Essai	Niveaux des facteurs			Réponses moyennes			
	CF (%)	Scories (%)	Eau (%)	Rc 90 Jours (MPa)	Gonflement (%)	CBR Sec (%)	CBR Humide (%)
1	70,29	29,71	11,85	0,62	0,054	93,32	121,45
2	47,72	52,28	11,85	1,13	0,2	93,3	175,7
3	70,29	29,71	16,15	0,76	0,11	99,27	173,33
4	47,72	52,28	16,15	1,27	0,016	109,6	234,3
5	74,91	25,09	14	0,48	0,2	127,49	112
6	43	57	14	1,6	0,02	113,2	296
7	59	41	10,97	0,61	0,2	93	128,6
8	59	41	17,03	1	0,23	83,4	160
9	59	41	14	1,1	0,002	104,8	253,7
10	59	41	14	0,97	0,02	99	231

#### II.4 Cendre de biomasse

La cendre de biomasse est une matière minérale issue de la combustion de bois et d'autre biomasse, elles peuvent contenir aussi des métaux lourds et ont un pH élevé. (Viviani ; 2018).

Leur utilisation dans la production de matériaux de construction représente actuellement les plus grandes opportunités de valorisation, notamment comme composant dans les ciments et bétons (effet pouzzolanique et activateur chimique).

D'autres pistes étudiées sont leur incorporation comme charge minérale dans les peintures, matières plastiques et mélanges bitumineux. Leur capacité d'adsorption importante pourrait aussi permettre une valorisation qui serait moins chère que le charbon actif. Enfin, la récupération des imbrûlés (cendres encore riches en C) peut trouver une valorisation en tant que combustible, sorbant, fillers, pigment, ou biochar. (Martin, 2015).

#### II.5 Cendre de bois

Les cendres de chaufferies bois sont des résidus de combustion et d'incinération. Ce sont aussi des produits susceptibles d'être utilisés en tant que matières fertilisantes, ou éventuellement en tant que matériaux entrant dans des procédés de fabrication industrielle ou tant que matériaux de construction pour le bâtiment et les travaux publics. (ADEME ; 2001).



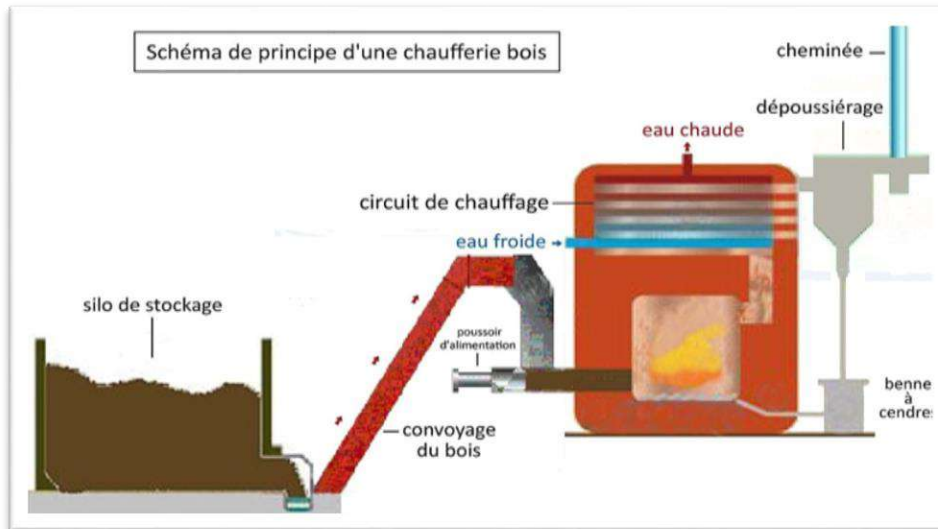
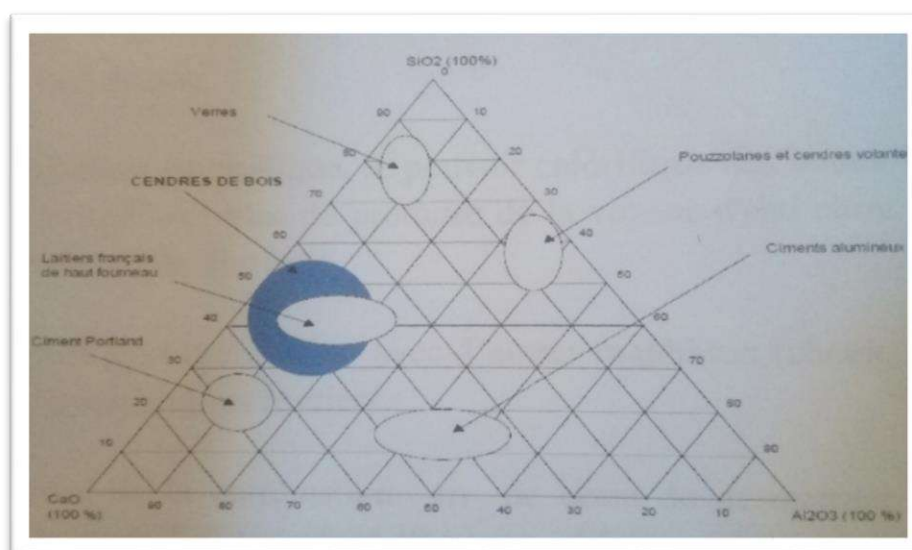


Figure (II.7) : schéma de principe d'une chaufferie bois. (Wikipédia).

La composition chimique des cendres n'est pas sans rappeler les compositions des matériaux utilisés dans le domaine des travaux publics (ciment, cendre de charbon, laitier...). En première approximation, les cendres se placent, dans le diagramme ternaire  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , dans un domaine voisin des laitiers de haut fourneau (du fait de la faible teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ce qui permettait d'envisager une certaine compatibilité voire affinité avec les liants hydrauliques classiques (ciment).

Le diagramme ternaire suivant (figure II.8) présente de façon très schématique la position de différents matériaux. À noter que le domaine des cendres de bois est large du fait de l'étalement des compositions chimiques rencontrées.



(Figure II.8) : diagramme ternaire  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . (BAALI et al 2015).

### II.5.1 Utilisation de cendres de bois

En technique routières, cendre de bois pourraient entrer dans la constitution de remblais et sous couches de chaussées en tant que :

- liant à faible caractère pouzzolanique.
- correcteur granulométrique ou filler dont le rôle est de compléter la granulométrie d'un matériau pauvre en fraction fine (inférieure à 500  $\mu\text{m}$ ). **(BAALI et all 2015)**

### II.6 Cendres de papeterie

Les cendres de papeterie sont Sous-produit essentiellement composées de calcium, de silicium et d'aluminium : à eux trois, ils représentent entre 70 et 90 % des matériaux. **(SEGUI ; 2011)**.

Les compositions chimiques des cendres résultent des compositions des charges minérales (kaolin, carbonate de calcium naturel ou précipité, dioxyde de titane, talc, silice colloïdale) utilisées comme pigment dans le papier et les encres mais aussi des agents coagulants utilisés lors de l'étape de désencrage des boues de recyclage.

Les caractéristiques des cendres de papeterie dépendent du type de boues et des autres matériaux (comme les résidus de scierie et de retraitement des palettes de bois) qui approvisionnent les chaudières ainsi que du mode de fonctionnement de ces dernières. Il faut noter qu'en général les chaudières produisant les "cendres de papeterie" sont alimentées en proportions variables avec d'autres "déchets" comme des boues de station d'épuration ou des déchets primaires de papeterie (sciure et copeaux de bois, boues de station d'épuration de l'usine,...). L'ensemble des différences dans le processus de recyclage, d'alimentation des chaudières (variétés des entrants) et de calcination entraînent des différences dans les caractéristiques des cendres obtenues.

A part dans le cas des cendres produites en laboratoire, peu de données sont disponibles concernant les entrants dans les chaudières et leurs proportions. **(SEGUI ; 2011)**.

Les filières de valorisation des boues sont diverses :

- Recyclage dans le processus en fonction de leurs caractéristiques,
- Valorisation en agriculture : épandages agricoles du fait de la teneur importante en carbonate de calcium,
- utilisation en briqueterie,
- hydrolyse pour obtenir de l'éthanol,
- valorisation énergétique. **(ADEME, 2001)**.

Actuellement, de nombreuses recherches essayent de valoriser les cendres volantes de papeterie comme des ajouts dans l'industrie cimentai ainsi que les boues de papeterie (quand elles ne font pas l'objet de calcination).

### II.7 Cendres des déchets des palmiers dattiers

Cendres des déchets des palmiers dattiers est le résidu principalement basique résultant de la combustion et de la pyrolyse de divers matériaux organiques et inorganiques brûlés dans des incinérateurs, à l'extérieur, dans des fours.

La combustion normale des cendres des déchets le palmier à température 250c°, Contiente Plusieurs minéraux sont parmi eux, Quartz  $\text{SiO}_2$ , Sulfate de calcium  $\text{CaSO}_4$ , Oxyde de magnésium  $\text{MgO}$ , chlorure de potassium  $\text{KCl}$  chlorure de sodium  $\text{NaCl}$ . (Rezig ,2012).



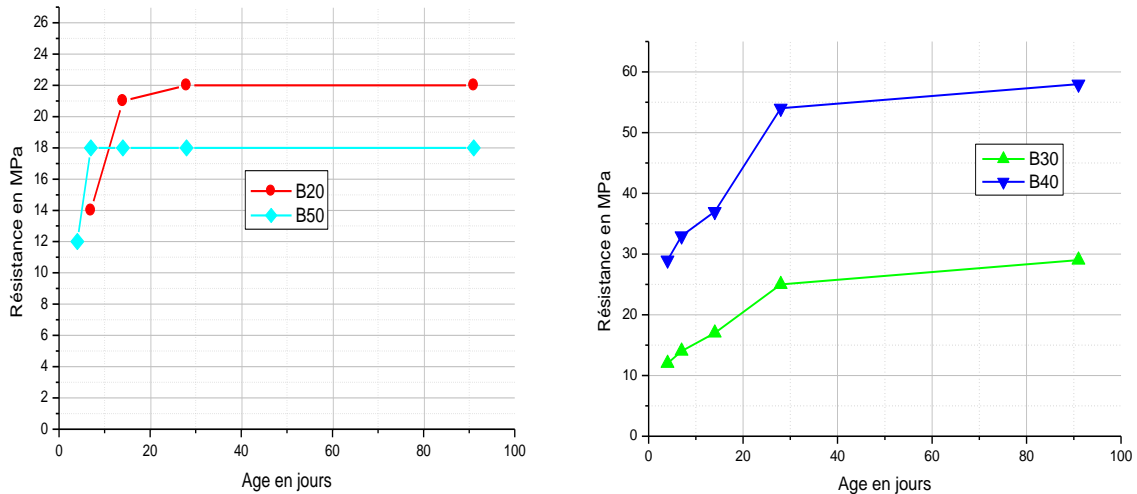
**Figure (II.9) : les déchets des palmiers Dattier.**



**Figure (II.10) : cendres des déchets Des palmiers dattier.**

Selon une étude réalise par **REZIG. 2012**, dont l'objectif de rechercher une résistance à la compression plus ou moins égal à 50 MPa a 28 jours, avec l'utilisation des matériaux locaux (sable de dune et la cendre de palmier). Les recherches pour un béton haute performance est sa résistance et sa durabilité réduction de la porosité. Donc haute compacité et il doit résister aux agents agressifs (gaz et sels).

Cette étude montre que l'influence positive de l'introduction de la cendre de palme dans le béton B40, et négative pour le béton B50. L'augmentation de la résistance signifie une plus grande compacité et donc moins de pores. Cela veut dire que l'effet de la cendre sur ce béton est positif du point de vue résistance à la compression (figure II.11).



**Figure (II.11) : Influence de la cendre de palme sur différents bétons (B20, B50) et (B30, B40).**

## II.8 Conclusion

Les Cendres, qui sont des déchets, présentent des propriétés pouzzolaniques leur permettant d'entrer utilement dans la durabilité des grands ouvrages de génie civil. Elles sont dotées de caractéristiques mécaniques appréciables faisant d'eux un alternatif attrayant aux granulats naturels dans les chaussées routières.

Actuellement, Il n'existe aucune réglementation ou norme concernant l'intégration des certaines cendres de bios ou **Cendres des déchets des palmiers dattiers** dans les domaines de la construction. Néanmoins, il pourrait être envisageable de se rapprocher des normes existantes pour les sous-produits industriels déjà utilisés dans ces domaines (cendres volantes de charbon, laitiers, ...).

# **Partie II**

## **Etude Expérimentale**

# **Chapitre III**

## **Caractérisation Des**

### **Matériaux Utilisés**

### III.1. Introduction

Dans cette partie, nous aborderons l'étude des différentes caractéristiques des matériaux utilisés ainsi que la façon de préparations le sable normalisé et de l'élaboration de la cendre des déchets de palmiers dattiers (CDPD).

Nos essais sont réalisés au niveau de laboratoire des travaux publics sud d'Ouargla (LTPS), laboratoire national d'habitation et construction (LNHC) et laboratoire de béton de génie civil de l'université d'Ouargla.

### III.2. Sable

Le sable utilise est un sable normalisé préparé à partir du sable alluvionnaire provenant d'une carrière situé 30K m à l'Est de Ouargla ; en se référant à la norme EN196-1.

La séparation de différentes fractions que doit contenir sable normalisé est effectuée par tamisages (figure III.1)



**Figure (III.1) : la différente fraction contenant dans un sable normalisé.**

Le tableau (III.1) présente la masse et le pourcentage de différentes fractions contenant dans une masse totale de 1350g sable normalisé.

**Tableau (III.1) : quantité de sable dans les tamis**

Tamis (mm)	M(g)	%
2	0	0
1.6	94.5	7
1	351	26
0.5	459	34
0.16	270	20
0.08	175.5	13

**III.2.1. Analyse granulométrique du sable (NFP18-554)**

L'analyse granulométrique est une distribution dimensionnelle des grains qui permet de détecter et miner la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

L'essai d'analyse granulométrique complète a permis d'obtenir les résultats présentés dans le (tableau III.2) et de tracer la courbe figure (Figure III.2)

**Tableau (III.2) : Analyse granulométrique du sable normalisé.**

Tamis (mm)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Pourcentage passant (%)
2	0	0	100
1.6	3.68	0.36	99.64
1.25	15.55	1.55	98.45
1	64.93	6.49	93.51
0.63	327.06	32.706	67.294
0.315	878.81	87.88	12.119
0.16	980.73	98.07	1.927
0.08	996.76	99.67	0.324

$$M_f = \frac{\sum \% \text{Refus (cumulés)}}{100}$$

Module de finesse du sable  $M_f = 2.27$



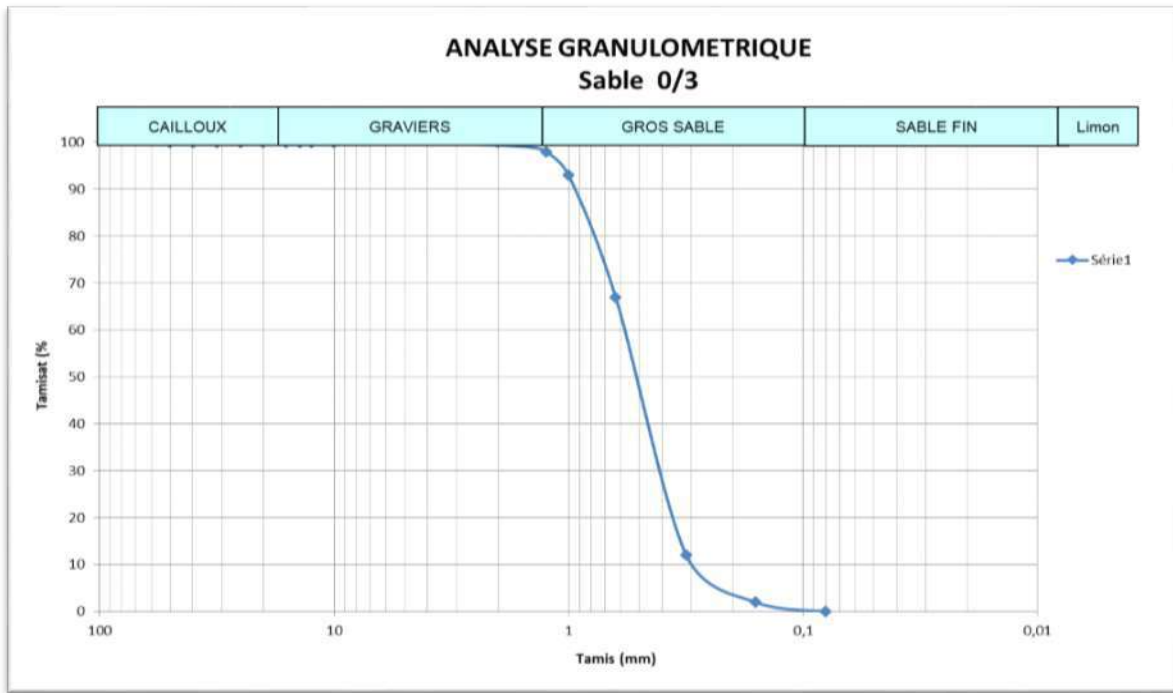


Figure (III.2) : Courbe granulométrique du sable.

• D’après la valeur du le module de finesse du sable, nous remarquons que **notre sable est un sable préférentiel** selon le tableau proposés pour la granularité des sables à béton (tableauIII.3).

Tableau(III.3) : Modules de finesse à défèrent fuseaux.

Sables admissibles	fuseaux	Modules de finesse
<b>préférentiel</b>	<b>A</b>	<b>2.20 à 2.80</b>
Un peu trop fin	B	1.80 à 2.20
Un peu trop grossier	C	2.80 à 3.20

### III.2.2. Masses Volumiques (NFP18-558)

**\* Masse volumique apparente**

C’est la masse volumique d’un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

**\*Masse volumique absolue**

C’est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

Les valeurs de différentes masses volumiques sont présentées dans le Tableau (III.4) :  
**Tableau (III.4) : Masses volumiques apparentes et absolu de sable utilisées.**

<b>Masse volumique apparente</b> $\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	1.634
<b>Masse volumique absolue</b> $\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	2.61

### III.2.3. Absorption d'eau du sable (NF P 18-555)

Elle est déterminée en mesurant l'augmentation de masse d'un échantillon séché au four après avoir été immergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement. Le rapport entre l'augmentation de la masse et la masse de l'échantillon sec, exprimé en pourcentage, est défini comme étant l'absorption  $A_b$  .que ne doit pas dépasse 2.5% selon la norme française NF P 18-555, soit :

$$A_b = ((M_a - M_s) / M_s) 100$$

Avec :

- $A_b$  : Coefficient d'absorption d'eau.
- $M_s$  : Masse de l'échantillon séché à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante.
- $M_a$  : Masse de l'échantillon après imbibition dans l'eau pendant 24h à T =20°C.



**Figure (III.3) : les étapes d'essai d'absorption d'eau du sable.**

Coefficient d'absorption de notre sable est de l'ordre : **0.22%**

- On remarque que **le sable utilisé a une capacité d'absorption d'eau acceptable  $A_b < 2,5\%$ .**

### III.2.4. Equivalent de sable (NF EN 933-8)

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable ( $E_s$ ) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

Les figures ci-dessus : présentent les étapes de l'équivalent de sable normalisé.



Figure (III.4) : Appareillage et les éprouvette de l'équivalent de sable normalisé.

Le Résultat d'équivalent de sable normalisé dans le tableau (III.5) suivant :

**Tableau (III.5) : Résultat d'équivalent de sable normalisé.**

Heure de début d'essai	09h 10min	09h 12min
Heure de début +10min	09h 20min	09h 22min
Heure de lecteur (20min après lavage)	09h 40min	09h 42min
Hauteur totale $h_1$ (cm)	10	9.5
Hauteur $h_2$ (cm)	8.8	8.3
$ES=100(h_2 / h_1)$	88	87.36
ES moyenne (%)	<b>87.68</b>	

• D'après l'essai et la norme NF EN 933-8 d'équivalent de sable, nous confirmons la propreté du sable normalisé préparé c'est-à-dire l'absence presque totale de fines argileuses qui risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

**III.2.5. Analyses chimique sommaire du Sable :**

Les essais d'analyse chimique sont effectués sur la base des normes NF P15-461, BS 1377 et NF P 94-048 pour la détermination le taux d'insolubles (le quartz principalement), le taux sulfate, le taux de carbonates et la teneur en sels. L'Analyse chimique sommaire, réalisées au laboratoire de travaux publics du sud (LTPS) d'Ouargla, décele la dominance des insolubles par pourcentage de 90.5% (Tableau III.6)

**Tableau (III.6) : Résultats d'analyse chimie pour le sable normalisé.**

Les essais	Sable 0/3
Taux des insolubles %	90.5
Taux des sulfates $SO_3^{2-}$ %	1.20
CaCO <sub>4</sub>	6.44
Taux des carbonates %	9
PH	9.12
Taux des chlorures %	0.039

**III.2.6. Essai Au Bleu De Méthylène NF P 94-068 :**

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient.

Le bleu de méthylène est en effet adsorbé préférentiellement par les argiles du type montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles sont peu sensibles au bleu. Qui vise à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 100 g de la fraction granulaire analysée.



Figure (III.5) : Exécution de l'essai au bleu de méthylène.

La valeur au bleu de la prise d'essai passant : **VB=0.38**

• Si nous adoptons la classification, ci-dessous, retenu pour les sables, nous ne constatons que notre sable **légèrement pollué**.

$VB < 0,1$  ou  $0,2 \rightarrow$  matériau propre.

$0,2 < VB < 0,5 \rightarrow$  matériau légèrement pollué.

$0,5 < VB < 1 \rightarrow$  matériau pollué.

$VB > 1 \rightarrow$  matériau très pollué.

### III.3. L'eau

L'eau utilisé est une eau qui ne contient en principe aucun ion (tels  $Ca^{2+}$  et  $HCO_3^-$ ) ; par contre, il peut rester des matières non chargées (matières organiques, bactéries, etc.). On l'appelle aussi eau déminéralisée. Elle est qualifiée d'eau purifiée .

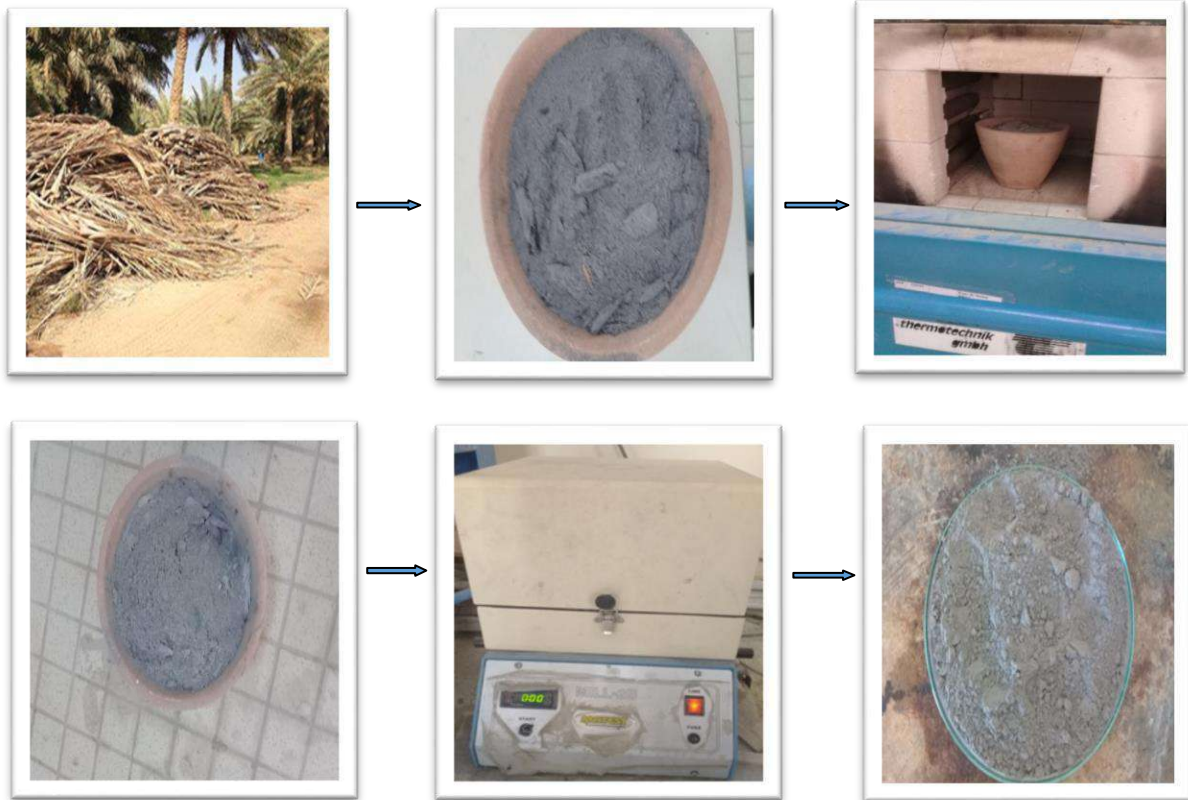
### III.4. Cendre des déchets de palmier dattiers (CDPD)

La cendre des déchets de palmier dattiers près à l'usage est obtenue après les 03 étapes suivantes : deux phases de combustion :

• **étape 1** : combustion ordinaire à l'air libre,

• **étape 2** : continuation de la combustion de la cendre obtenue dans phase 1 dans un four d'où trois classes de cendre sont élaborées. Chaque classe est caractérisée par une température de combustion différente à l'autre classe à savoir : (400, 600 et 800c°) .

• **étape 03** : broyage de la cendre.



**Figure (III.6) : Etapes de préparation la cendre des déchets de palmier dattiers.**

### III.4.1. Analyse chimique de la cendre

L'analyse chimique sommaire, réalisée sur des échantillons prélevés de chaque classe de cendre (tableau N) confirme la nature basique de cendre ( $\text{PH} > 7$ ), et montre que le taux des insolubles, qui referment principalement la silice, s'élève relativement en fonction de la température de combustion, au contraire du taux de carbonate de calcium.



Figure (III.7) : Analyse chimique de cendre.

Tableau (III.7) : Analyse chimique sommaire de la CDPD.

Les essais	Cendre 800° C	Cendre 600° C	Cendre 400° C
Taux des insolubles %	42.57	40.90	39.1
Taux des sulfates $SO_3^{2-}$ %	1.33	2.058	2.812
CaCO <sub>4</sub>	7.185	11.053	15.107
Taux des carbonates %	20	17	10
PH	10.71	10.86	11.02
Taux des chlorures %	0.022	1.0220	17.11

### III.4.2. Analyse granulométrique de la cendre

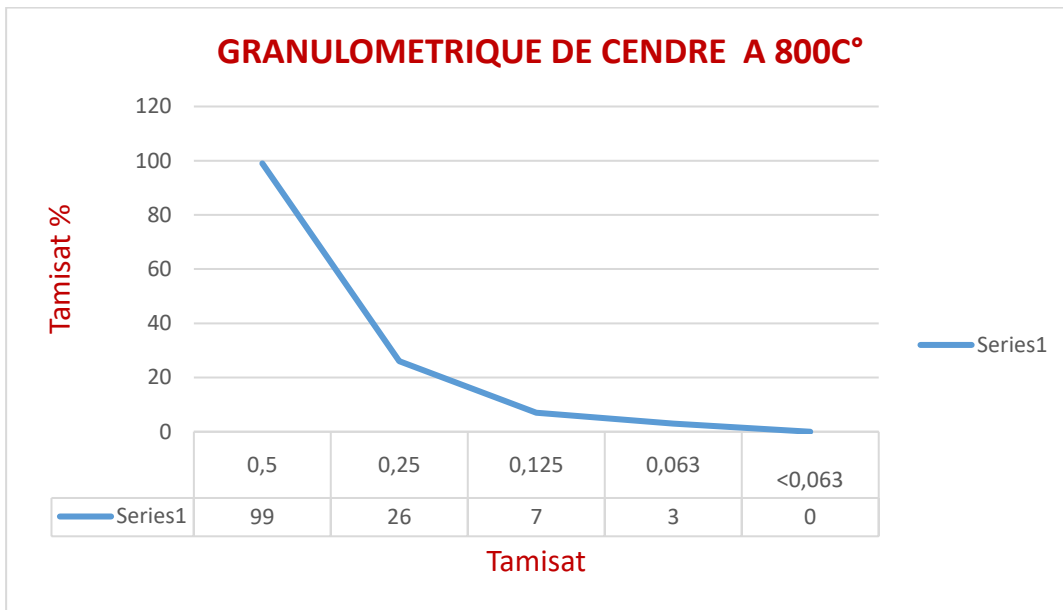
Analyse granulométrique de 100g de cendre effectuée sur chaque classe en vue d'avoir le pourcentage de déférentes fractions granulaire (tableaux (III.8) (III.9) et (III.10) , figure (III.8) (III.9) (III.10) et (III.11) montre la dominance des fractions 0,125/ 0,250 mm pour les trois classes.



Figure (III.8) :les différentes fractions des diamètres contenant dans des cendres .

**Tableau (III.8) :présentation la quantité de cendre dans tempirateur 800c° dans les tamis .**

Tamis (mm)	M(g)	Refus cumulés %	passant %
0.5	0.702	0.7	99.3
0.250	42.95	43.65	56.35
0.125	49.72	93.38	6.62
0.063	4.09	97.47	2.53
< 0.063	2.21	99.68	0.32



**Figure (III.9) :la courbe de l’analyse granulométrique de la cendre dans tempirateur 800c° .**

**Tableau (III.9) :présent la quantité de cendre dans tempirateur 600c° dans les tamis .**

Tamis (mm)	M(g)	Refus cumulés %	passant %
0.5	2.22	2.22	97.78
0.250	5.55	7.77	92.3
0.125	68.61	76.38	23.62
0.063	19.13	95.51	4.49
< 0.063	4.19	99.70	0.3



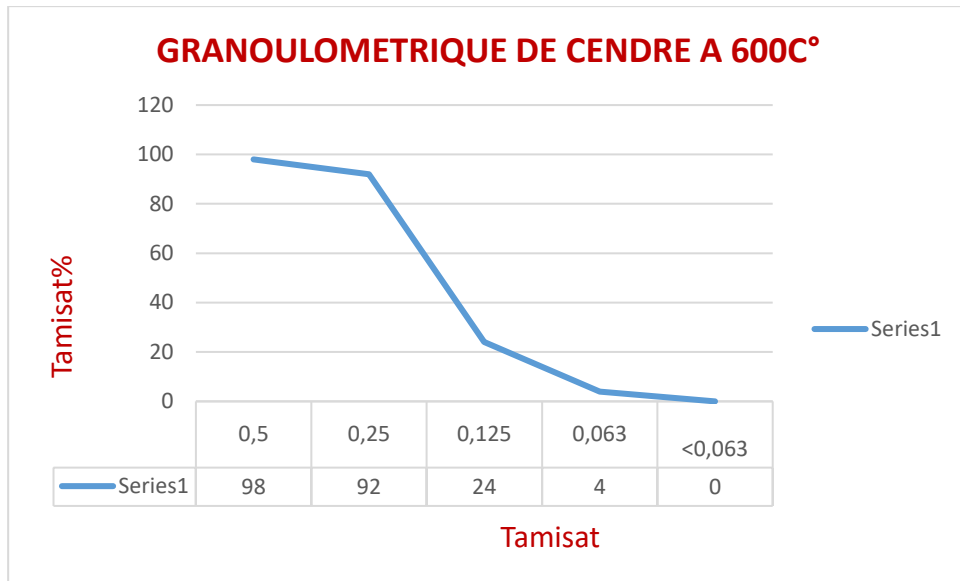


Figure (III.10) :la courbe de l’analyse granulométrique de la cendre dans tempirateur 600c°.

Tableau (III.10) :présent la quantité de cendre dans tempirateur 400c° dans les tamis .

Tamis (mm)	M(g)	Refus cumulés %	passant %
0.5	0.9	0.9	99.1
0.250	3.22	4.12	95.88
0.125	67.46	<b>71.58</b>	28.42
0.063	23.06	94.64	5.36
< 0.063	5.2	99.84	0.16

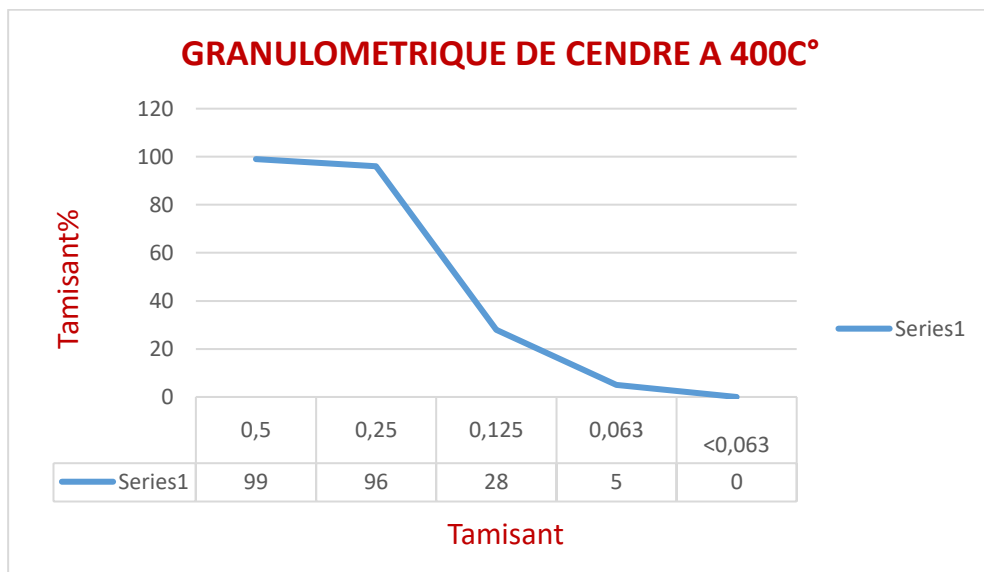


Figure (III.11) :la courbe de l’analyse granulométrique de la cendre dans tempirateur 400c° .

### III.5. Ciment

Le ciment utilisé de type Portland composé CEM II/B-L de classe 42.5 provenant de la cimenterie de SPA Biskra ciment, CEM II/B-L 42.5.

En se basant sur des résultats des essais effectués sur le même type de ciment et réalisé par BAISSA MOULOUDA 2017, nous rapportons ce qui suit :



Figure (III.12) : Ciment portland.

➤ **Analyse chimique sommaire du ciment :**

Tableau(III.11) : Analyses chimiques du ciment.

Les essais	Taux des insolubles %	Taux des sulfates SO32-%	CaCo4	Taux des carbonates %	PH	Taux des chlorures %
ciment	84.7	1.372	7.185	20	10.71	0.022

➤ **Prise du ciment**

L'essai de prise du ciment est un essai en laboratoire qui consiste à déterminer le temps disponible pour la mise en œuvre in situ des mortiers et des bétons.

• **Début de prise**

Le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) (voir figureIII.13) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ( $d = 6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ) du fond de l'anneau de 40 mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment.



**Figure (III.13) : début prise de ciment.**

**Début de prise (heure /min) : 2h35min.**

- **Fin de prise**

La fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau.  
(Voir figure III.14).



**Figure (III.14) : Fin prise de ciment.**

**Fin de prise (heure/min) : 3h49min.**

➤ Composition minéralogique du ciment en question sont indiquées sur les tableaux suivants :

Tableau (III.12) : Composition minéralogique. [Fiche].

Elément	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
%	61.79	17.46	4.41	3.22	2.02	2.12	0.73	0.15

### III.6. Conclusion

Les essais de caractérisation principalement réalisés sur le sable et la cendre de déchets de palmiers (CDPD) dattiers révèlent que :

- le sable préappré est un sable propre ayant une capacité d'absorption d'eau acceptable. Il est préférentiel, selon le module de finesse calculé. ce résultat est attendu puisque nous avons essayé de se rapprocher à la granulométrie d'un sable normalisé
- les trois classes de CDPD élaborées, caractérisées par leur alcalinités, contiennent des pourcentages des insolubles relativement importante. De point de vue granulométrie, la fraction dominante est celle de 0.125/0.250 mm.

# **Chapitre IV**

## **Résultat et Discussion**

---

## IV.1 Introduction

La composition chimique des ajouts cimentaires souvent joue un rôle prépondérant dans résistance mécanique des mortiers et des bétons vue que l'efficacité liante dépend des nouveaux composés, formés après l'opération d'hydratation du ciment de l'ajout.

Dans cette partie expérimentale nous essayons d'examiner l'effet de l'ajout des cendres des déchets de palmiers dattier obtenues à diverses température de combustion sur la résistance à la compression et à la traction des mortiers du ciment.

## IV.2 Préparation des mortiers

Les mortiers sont préparés d'une manière classique selon la norme EN-196-1. Ils contiennent 03 parties de sable et 01 partie qui englobe le ciment et la cendre des déchets de palmiers dattiers (**CDPD**). On note que trois classes de cendre sont utilisées (CDPD400, CDPD600, et CDPD800). Chaque classe se distingue par la température de combustion des déchets adoptée. Par exemple, la CDPD400 est obtenue à une température de 400°C.

Les différents mortiers testés sont nommés comme suit :

**MT** : Mortier Témoin à base 100% ciment et 0% CDPD

**MC5** : Mortier à base 95% ciment et 5% CDPD

**MC10** : Mortier à base 90% ciment et 10% CDPD

**MC15** : Mortier à base 85 % ciment et 15% CDPD.

L'eau de gâchage est une eau distillée dont le volume ajoutée est calculé en prenant le rapport E/ C constant qui est égale à 0,5.

Les compositions des mortiers étudiées sont représentées dans le tableau ci-après :

**Tableau (IV.1) : Les compositions des mortiers étudiées.**

Désignation	MT	MC5	MC10	MC15
E/C	0.5	0.5	0.5	0.5
L'eau de gâchage (g)	225	225	225	225
Ciment (g)	450	427.5	405	382.5
Sable normalisé(g)	1350	1350	1350	1350
Cendre (g)	0	22.5	45	67.5

Des essais de maniabilité qui consiste à mesurer le temps d'écoulement nécessaire à un volume de mortier soumis à des vibrations pour atteindre un repère donné (figure IV.1) sont effectués dont les résultats sont représentés dans le tableau (IV.2).



**Photo (IV.1) : Essai d'écoulement au maniabilimètre .**

Les résultats que nous obtenons après l'essai d'écoulement au maniabilimètre et classification de consistance des mortiers, nous résumons-les dans le tableau suivant :

**Tableau (IV.2) : Les résultats de temps d'écoulement de mortier et leur Classification.**

Température		400°C			600°C			800°C		
Mortier	MT	MC5	MC10	MC15	MC5	MC10	MC15	MC5	MC10	MC15
Le temps d'écoulement (s)	31	27	23	20	28	23.3	21	27.4	22	19.5
Classe de consistance	F	P	P	P	P	P	P	P	P	P

**Tableau (IV.3) : Classe de consistance des mortiers (NFP 18-452 )**

$T \geq 40 :$	Ferme (f)	$20 < t \leq 30 :$	Plastique (p)	$10 < t \leq 20 :$	Très plastique (TP)	$t \leq 10 :$	Fluide (FL)
---------------	-----------	--------------------	---------------	--------------------	---------------------	---------------	-------------

D'après les résultats de temps d'écoulement, nous remarquons que l'augmentation du pourcentage de CDPD conduit à la diminution de temps d'écoulement, ce qui rend le mortier plastique.

---

### IV.2.1 Confection des Eprouvettes

Des éprouvettes de mortier sont confectionnées à base de ciment et cendre des déchets de palmeraie dattiers brûlé à différentes températures en utilisant des moules (4x4x16) cm. Ces derniers sont remplis en deux couches et secoués à l'aide d'une table à choc pendant 60 s pour chaque couche. Après une opération de finition, les moules sont conservés dans les conditions du laboratoire ( $T = 30 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) et une humidité relative (HR) de ( $65 \pm 5 \%$ ) durant 24 h.



**Photo (IV.2) :Etapes de Confection des Eprouvettes.**

Les éprouvettes démoulées sont conservées dans un bac d'eau jusqu'à l'âge d'écrasement des éprouvettes. Les durées de conservation adoptées étaient de 7, 14 et 28 jours de la date de confection des mortiers.

### IV.3 Essais de la résistance mécanique

Pour les mortiers de ciment, deux essais principaux sont souvent réalisés à savoir :

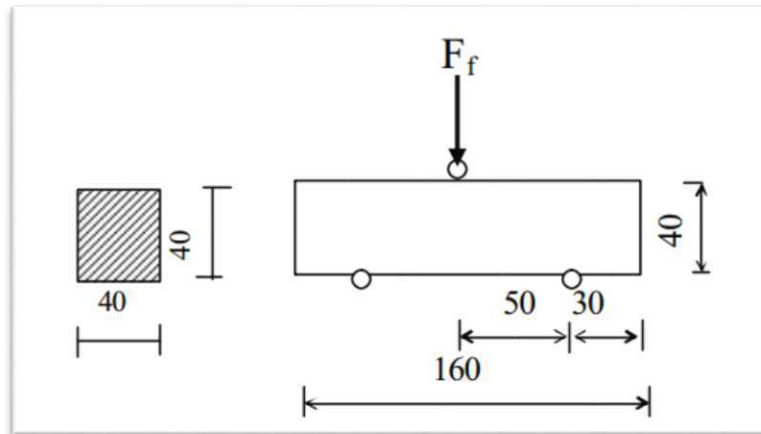
\*Essais de flexion pour déterminer la contrainte de rupture à la traction

\* Essais de compression permettant de déterminer la contrainte de rupture à la compression

#### IV.3.1 Résistance à La Traction par Flexion

La résistance à la traction par flexion du mortier est déterminée par un dispositif de traction par flexion trois points (Figure IV.2) selon la norme EN 196-1.





**Figure(IV.1) : Essai mécanique de rupture par flexion.**

La résistance à la traction par flexion est donnée par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3}$$

Avec :

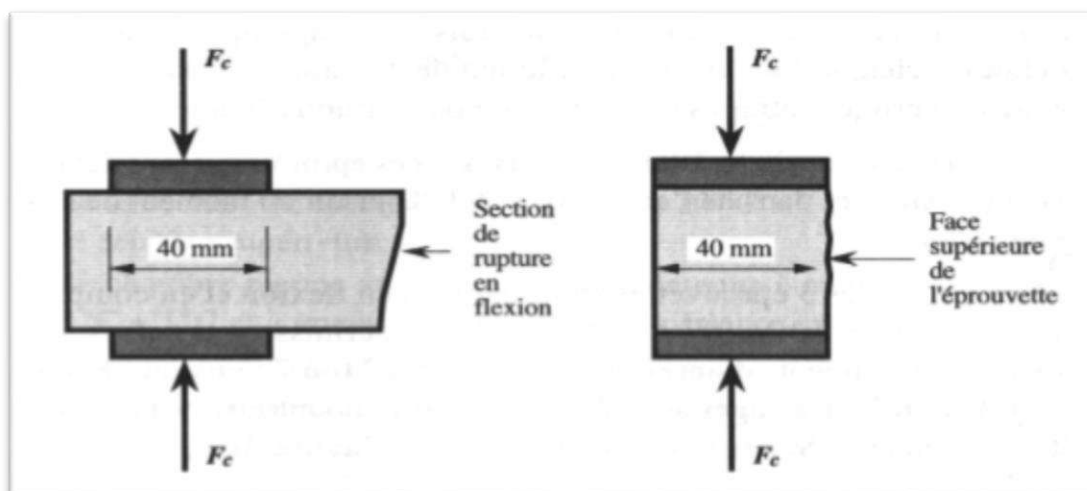
$F_f$  : Charge de rupture en N.

$L$  : La distance entre les appuis ( $L = 100$  mm).

$b$  : Le coté de la section carrée de l'éprouvette ( $b = 40$  mm).

### IV.3.2 Résistance à La compression

La résistance à la compression (figureIV.12) est les plus importantes propriétés du mortier elle exprime le degré de qualité et de l'aptitude selon la norme EN 196-1.



**Figure (IV.2) : Résistance mécanique à la compression.**

La résistance à la compression est donnée par la formule suivante :

$$R_f = F_c / b^2$$

Avec :

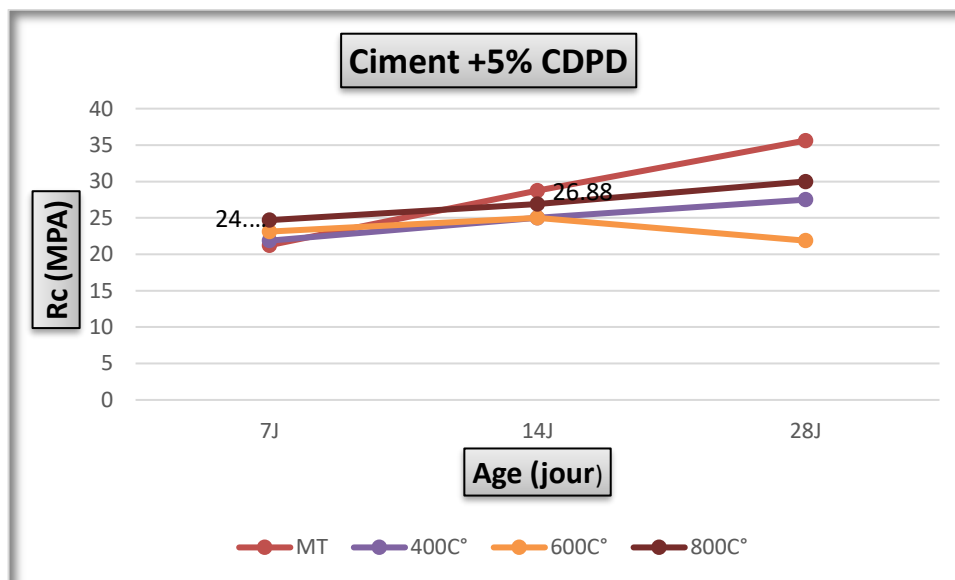
$F_c$  : Charge de rupture en N.

$b$  : Le coté de la section carrée de l'éprouvette ( $b = 40 \text{ mm}$ ).

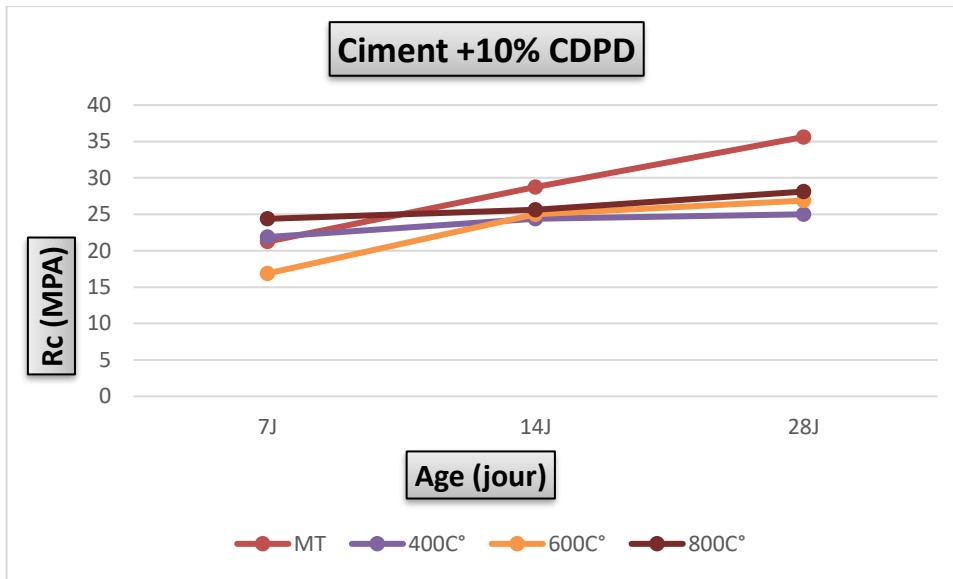
#### IV.4 Analyse des résultats

##### IV.4.1 Résistance à la compression

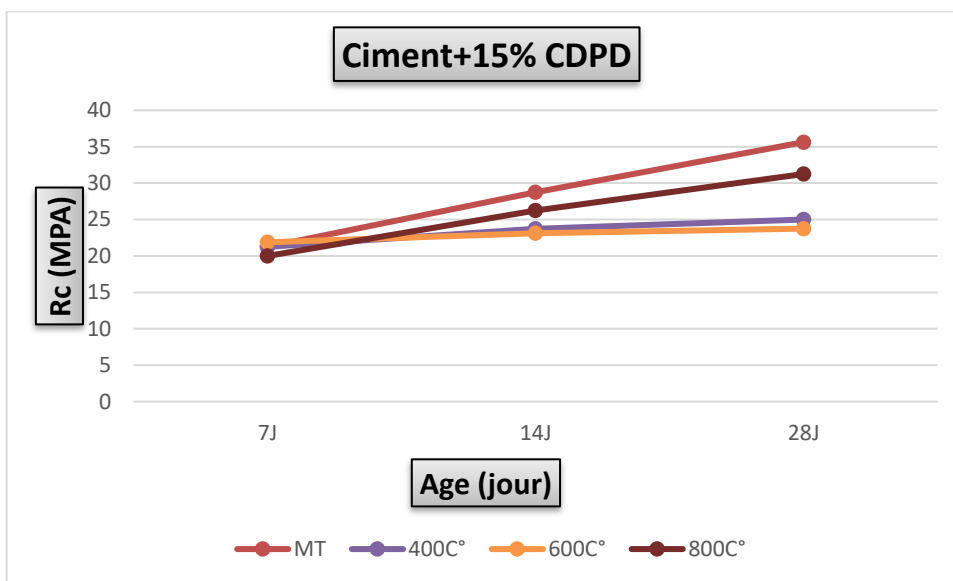
Les figures IV.4, IV.5 et IV.6, présentent respectivement l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge des mortiers MC5, MC10 et MC15 pour les différents classes de cendre introduite (CDPD400, CDPD600 et CDPD800)



La figure (IV.3) : l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour 5% de CPPD.



**La figure (IV.4) : l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour 10% de CPPD.**



**La figure (IV.5) : l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour 15% de CPPD.**

Les différentes courbes tracées illustrent la progression positive de la résistance à la compression avec l'âge de tous les mortiers, quelle que soit la classe de cendre introduite, ce qui est conforme à la tendance générale de la résistance des mortiers de ciment

Les résistances à la compression des mortiers MC5, MC10, MC15 sont au-dessous de celles du mortier témoins (à base du ciment seul).

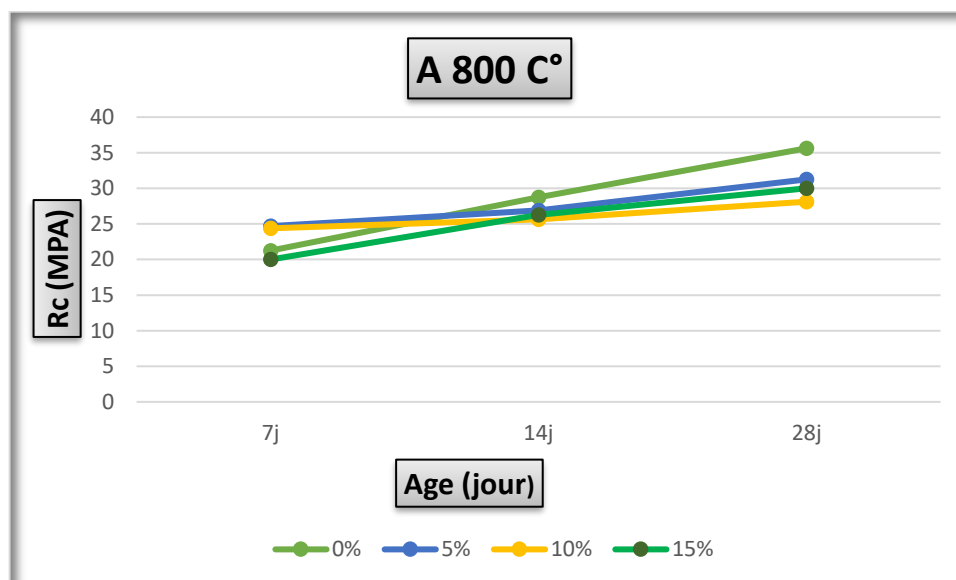
Ce que signifie que la substitution d'un pourcentage du ciment par un autre de CDPD ne donne pas certainement la meilleure résistance.

En comparant les résistances des différents mortiers à base de ciment+CDPD, nous constatons que la meilleure résistance est obtenue lors de l'ajout de la cendre de combustion des déchets de palmiers dattiers à la température la plus élevée, c'est-à-dire la cendre de la classe CDPD800, et ceci quel que soit le pourcentage de la CDPD introduite.

Ce résultat permet de dire effectivement que la CDPD800, qui est caractérisé par son taux des insolubles, révélé lors de l'analyse chimique sommaire, relativement supérieurs à ceux des autres classes de CDPD, a réagi avec la matrice cimentaire en conduisant à l'augmentation de la résistance par rapport la CDPD400 et la CDPD800.

En rappelant que les insolubles renferment certains minéraux, principalement la silice  $Si_2O_3$ , ayant un pouvoir pouzzolanique lorsque leur pourcentage réuni devient important. Ce pouvoir augmente avec l'augmentation de ce pourcentage.

Afin de savoir quel pourcentage de la classe de CDPD800 doit être introduite pour obtenir la meilleure résistance à la compression simple, Des courbes sont tracées (figure IV.6) qui représente l'évolution de la résistance des mortier (MC5,MC10 et MC15) à base de ciment + CDPD800 avec l'âge

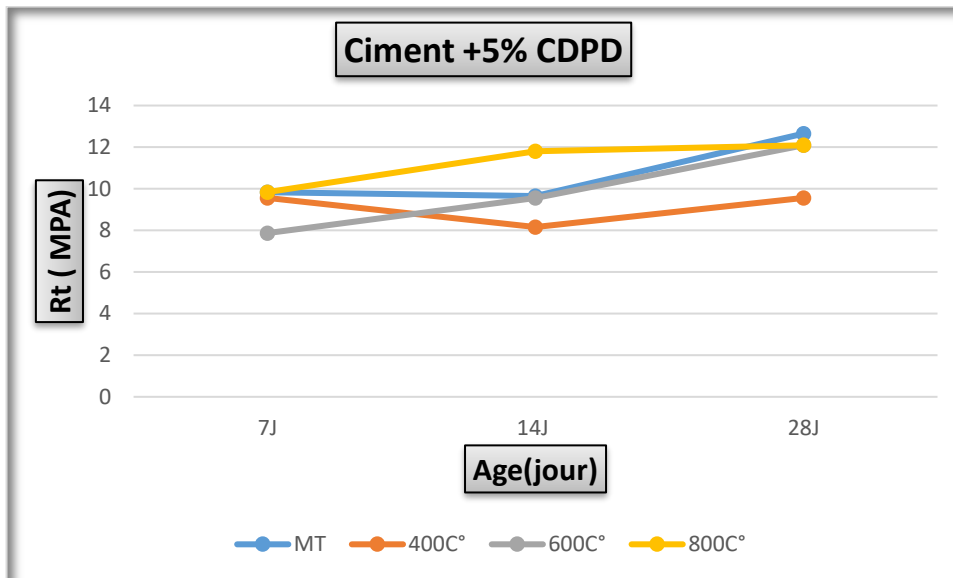


**La figure (IV.6) : l'évolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge de différents mortiers pour une CDPD800°C.**

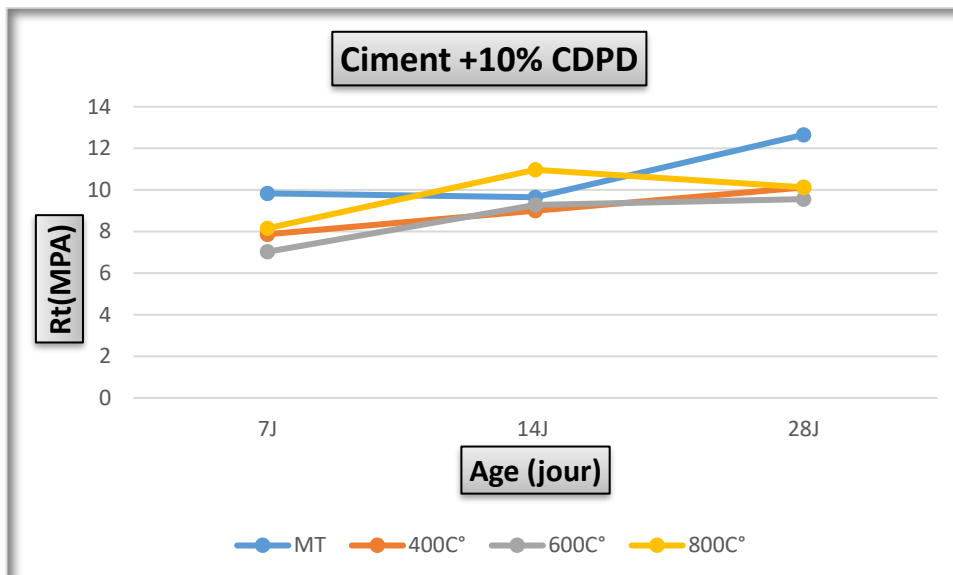
Les résultats obtenus montrent que la résistance la plus élevée est enregistrée lors de l'ajout de 5% de CDPD800, c'est-à-dire le mortier MC5.

#### IV.4.2 Résistance à La Traction par Flexion

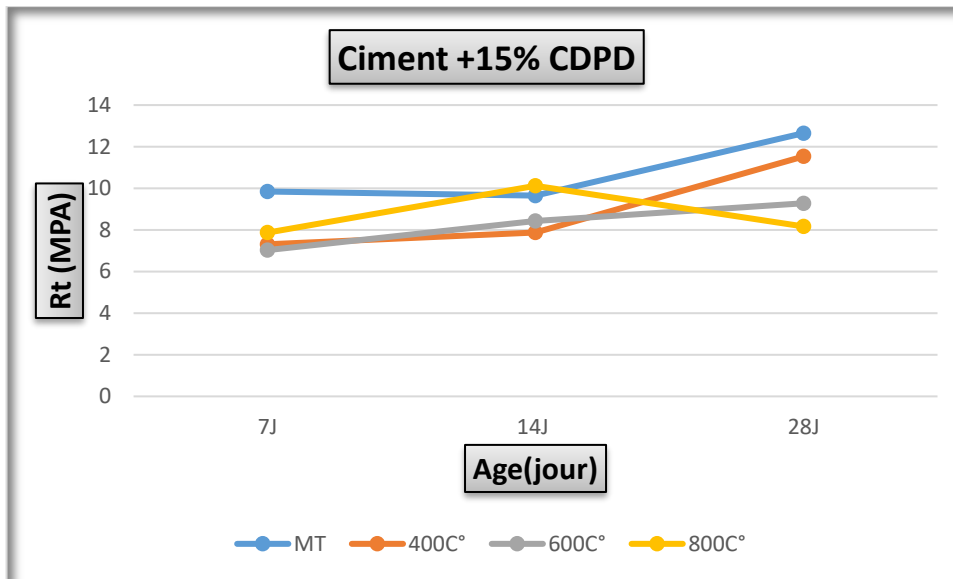
Les figures IV.8, IV.9 et IV.10 présentent l'évolution de la résistance à la traction en fonction de l'âge de différents mélanges MT, MC5, MC10 et MC 15 dont les résistances de chaque mortier sont mesurées en variant la classe de la cendre.



Figure(IV.7) : L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour 5% de CPPD.



Figure(IV.8) : L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour 10% de CPPD.



**Figure(IV.9) : L'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour 15% de CPPD.**

D'après les courbes tracées, nous constatons que la résistance à la traction marque certaine amélioration pour l'ensemble des mortiers lors de l'ajout de différentes classes de cendre

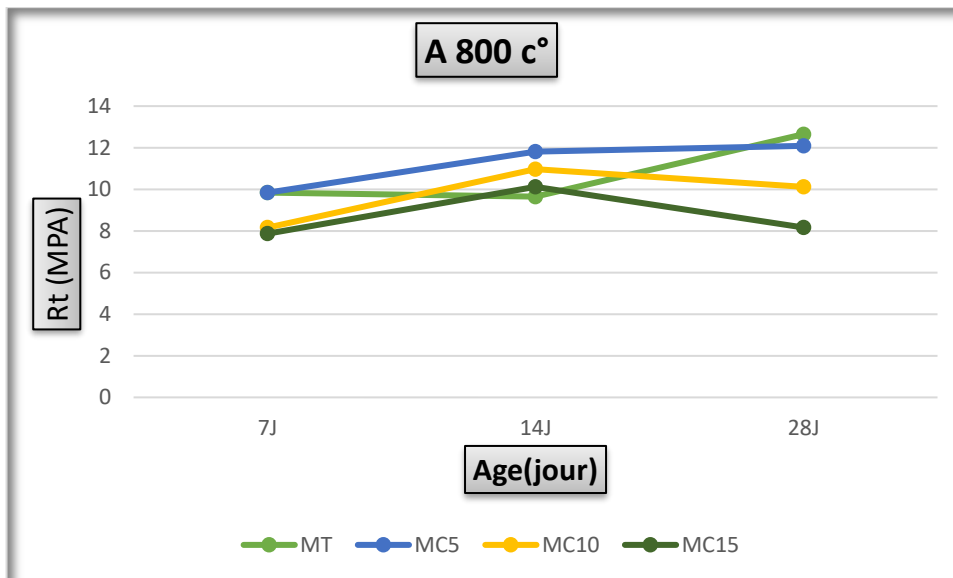
A 28 jours, la résistance à la traction du mortier témoin reste supérieure à celle des autres mortiers. Ce qu'explique une autre fois que la substitution d'un pourcentage du ciment par un autre de CDPD ne donne pas certainement la meilleure résistance.

A 07 jour, l'effet de type de classe de cendre sur la résistance à la traction des différents mortiers n'est pas nettement visible, c'est-à-dire pour un mortier donné les valeurs de la résistance, sont voisines

A l'âge 28 jours, l'écart dans la résistance dû à l'effet de classe de cendre introduite n'apparaît clairement que pour le mortier MC15 dont la valeur maximale de la résistance est obtenue à l'ajout de la CDPD400

Ces résultats n'est permet de faire un jugement définitive sur l'effet de l'ajout ces cendres obtenus à diverses températures de combustions sur la résistance à la traction des mortiers, car nous savons l'effet des ajouts ayant un pouvoir pouzzolanique tels que les cendre ne se manifeste que à long terme .

La figure IV.9 représente l'évolution de la résistance à la traction des mortiers (MC5, MC10 et MC15) lors de l'introduction de la cendre de classe CDPD800. La focalisons sur cette dernière classe vient après les meilleures résistances à la compression révélées pendant son incorporation dans les différents mortiers.



**La figure (IV.10) : l'évolution de la résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge de différents mortiers pour une CPPD800.**

Les courbes de la figure IV.10 montrent que, à 28 jours, la meilleure résistance à la traction est constatée lors de l'ajout de 5% de CPPD800, c'est-à-dire le mortier MC5.

#### IV.5 Conclusion

À la lumière des résultats obtenus dans cette partie expérimentale, nous pouvons conclure ce qui suit :

- presque toutes les résistances de divers mortiers à base (ciment+ CDPD), à la compression ou à la traction, sont au-dessous de celles du mortier témoin à base de ciment seul,
- la meilleure résistance à la compression est celle du MC5 obtenue à 28 jours lors de l'ajout de la classe CPPD800. Ce qui est un indice que l'effet de notre la cendre comme ajout cimentaire sur la résistance des mortiers dépend de la température de combustion des déchets de palmiers dattiers et par conséquent la minéralogie de la cendre .
- la meilleure résistance à la traction par flexion ne permet de donner un jugement envers les résistances des mortiers testés tant que des essais à long terme ne sont pas réalisés.

# **Conclusion Générale**

## **Et perspectives**



## Conclusion générale et Perspectives

Dans cette étude, nous avons examiné l'influence de diverses classes de cendres, obtenues à partir de la combustion de déchets de palmiers dattiers à des différentes températures, sur les propriétés mécaniques du mortier de ciment, particulièrement la résistance à la compression et à la traction par flexion .

En partant des résultats obtenus, nous pouvons sortir avec des points :

- L'analyse chimique sommaire décèle que la principale distinction entre les classes de cendre élaborée (CDPD400, CDPD600 et CDPD800) est le taux des insolubles renfermant certains minéraux notamment la silice. Ce taux augmente avec l'augmentation de la température de combustion,
- dans l'ensemble, les résistances mécaniques des mortiers à base du ciment+ CDPD reste inférieure à celle du mortier témoin, à base de ciment seul,
- la comparaison entre les résistances à la compression des mortiers (MC5, MC10 et MC15) lors de l'ajout des différentes classes dévoile que les meilleures résistances sont obtenues pendant l'introduction de la cendre classe CDPD800, et ceci quel que soit le pourcentage de cendre utilisé,
- la résistance maximale à la compression est celle du mortier à l'ajout de 5 % cendre à la température de combustion 800 C, c'est-à-dire pour le MC5,
- à jeune âge, globalement, les résistances à la traction par flexion des mélanges prennent des valeurs voisines, ce qu'elles ne permettent pas de juger l'effet de l'ajout de cette cendre qu'après une étude à long terme

### Perspective

En raison de l'indisponibilité des moyen et de temps, la caractérisation effectuée sur notre cendre reste limitée Une identification plus profonde permettant de comprendre réellement l'effet de cette cendre est très utile.

La finisse de la cendre ajoutée joue un rôle prépondérant dans l'augmentation de la résistance des mortiers. L'influence de ce paramètre pourra l'objet d'un autre travail.

La réaction pouzzolanique des cendres est lente et ne se déclenche que tardivement De ce fait, une étude à long terme est plus que nécessaire.

# Références Bibliographiques

## Chapitre I :

**(Catinaud ; 2000)** {S. Catinaud ; Durabilité à long terme de matériaux cimentaire, avec ou sans fillers calcaires, en contact avec des solutions salines ; 2000 ; doctorat : Université de LAVAL Canada.}

**(Sedan ; 2007)** {D. Sedan ; Étude des interactions physico-chimiques aux interfaces de fibre chanvre / ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite ; 2007 ;  
Doctorat : Université de Limoges.}.

**(Dreux ; 1998)** {G. Dreux "Nouveau guide du béton " Edition, Eyrolles- Paris- 1998, P 29-41 }.

**(Chaouche et all ; 2011)** {Z.Senisna ; H.Chaouche ; Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux ; 2011 ; Master : Génie Civil : Constructions civiles et industrielles (C.C.I) : Université Kasdi Merbah – Ouargla.}.

**(Amine ; 1998)** {N. Amine ; Incidence de l'adjonction de la pouzzolane sur les propriétés des bétons de haut résistance ; 1998 ; Ingéniorat : université de Boumerdes}.

**(Day et all ; 2000)** {C. Shi and R.L. Day ; Pouzzolanic reaction in the presence of chemical activators, Part 2 – Reaction Products and Mechanism – Cement and Concrete  
Research – Vol 30 ; 2000, p 607-617}.

**(Aichouba ; 2005)** {A. Aichouba ; effets des pouzzolanes naturelles sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire ; 2005 ; Magister : IGCM Oran}.

**(Venuat ; 1989)** {M. Venuat ; La pratique des ciments, mortiers et bétons – Tome 1 : Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers ; édition2 ; Collection Moniteur ; 1989, p-277}.

**(KIRPACH, 2001)** {C. KIRPACH ; Ciments Luxembourgeois, Séminaire- Béton2001 : Journée d'information technique ; 23 novembre 2001, P 7-21}.

**(PICHON et all ; 1996)** {H. PICHON, P. Gaudon, A. Benhassain, O. Eteradossi ; Caractérisation et quantification de la fraction réactive dans les pouzzolanes naturelles, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées ; N° 201 ; Jan-Fev 1996}.

**(Site de Lerm)** {Philippe Souchu, Consulté le 22/12/2010 ; <http://doc.lerm.fr/>}.

**(Aitcin ; 1968)** {P.C. Aitcin ; les propriétés minéralogiques des sables de laitier de haut fourneau de fonte thomas et leur utilisation dans les mortiers en béton .Revue des matériaux de construction ; Mai 1968 ; pp 185-194.}.

**(Wikipédia)** {<https://fr.wikipedia.org/wiki>}.

## Chapitre II :

**(HAZIME ; 2011)** {A.HAZIME ; Cendres volantes en Techniques Routières ; SURSCHISTE - Techniques & Développement ; Marseille May 19, 2011}.

**(AFECHKAR et all)** {M.AFECHKAR et M.NAHHASS ; VALORISATION DES CENDRES VOLANTES DANS LE DOMAINE ROUTIER (Terrassements et couches de chaussées)}.

**(FICHE ; 2015)** {FICHE DE DONNÉES ENVIRONNEMENTALES DE SUBSTANCES CHIMIQUE ; janvier 2015}.

**(Martin, 2015)** {P. Martin ; Midi de la biomasse, Pistes de valorisation des cendres de chaufferies biomasse en Wallonie ; 21 avril 2015}

**(ADEME ; 2001)** {S. ADEME, Etude de valorisation des cendres de chaufferies bois ; MARCHE N° 00 01 026 ; Novembre 2001}

**(Wikipédia)** {<https://fr.wikipedia.org/wiki>}

**(SEGUI ; 2011)** {Pauline P.SEGUI ; élaboration de liants hydrauliques routiers à base de pouzzolane naturelle ou de cendre volante de papeterie ; 2011}.

**(Souad et all ; 2015)** {S. El Moudni El Alami, M. Monkade, K. Lahlou ; VALORISATION D'UN MELANGE DE CENDRES D'UNE CENTRALE THERMIQUE ET DE SCORIES D'ACIERIE DANS LES CHAUSSEES ROUTIERES ; Mars 2015}

**(Site de Lerm)** {Philippe Souchu, Consulté le 16/1/2014 ; <http://doc.lerm.fr/>}.

**(PREDIS ; 2018)** {PREDIS-groupe de travail n°5 ; Améliorer la valorisation des déchets industriels en BTP ; 24/05/2018}.

**(Viviani ; 2018)** {M. Viviani ; Cendres de biomasse : valorisations ; 3 mai 2018}.

**(BAALI et all 2015)** {K.BAALI et K.BELBARKA ; effet de l'ajout de la cendre des déchets de palmier sur les performances mécanique des tufs gypso-calcaire ; 2015 ; Master : Génie Civil : Constructions civiles et industrielles (C.C.I) : Université Kasdi Merbah – Ouargla.}

**(Rezig ,2012)** {R.DJEBAILI ; Etude d'un béton à haute performance à base de sable de dune destines aux ouvrages en milieu agressif et très agressif ; 2012 ; Magister : Génie Civil : Géo Matériaux : Université Kasdi Merbah – Ouargla}.

### **Chapitre III :**

**(Fiche)** {FICHE TECHNIQUE ; MATINE cimente béton exigeant CEMII/B-L 42.5N NA 5042}.

**(BAISSA ,2017)** {BAISSA M et BERROUBA M ; Etude expérimentale de l'effet des ajouts locaux sur la diminution de la propagation de fissuration sur les bétons ; 2017 ; MASTER : Génie civil : Étude et Contrôle Bâtiments et Route : Université Kasdi Merbah – Ouargla}.

# **Annexe**

T = 27,3                      H = 26

	sable	ciment	Cendre 800C°	Cendre 600C°	Cendre 400C°
invalable	90,5%	4,7%	42,57%	40,90%	39,1%
	31,146	29,976	35,072	49,810	64,548
	30,241	29,929	34,645	49,401	64,157
SO <sub>2</sub>	1,2005	1,372	1,337	2,058	2,812
SO <sub>3</sub>	31,640	30,303	34,726	32,398	30,097
	31,605	30,263	34,687	32,338	30,015
CaSO <sub>4</sub>	6,448	7,369	7,185	11,053	15,107
%CaCO <sub>3</sub>	9%	80%	20%	17%	10%
	9,10	2,00	8,00	8,30	9,00
PH	9,12	12,60	10,71	10,86	11,02
%Cl <sup>-</sup>	7	6	4	180,00	3017,00
	0,039	0,034	0,022	1,020	17,11

Photo 1 : Analyse chimique des matériaux (sable, ciment, cendre)

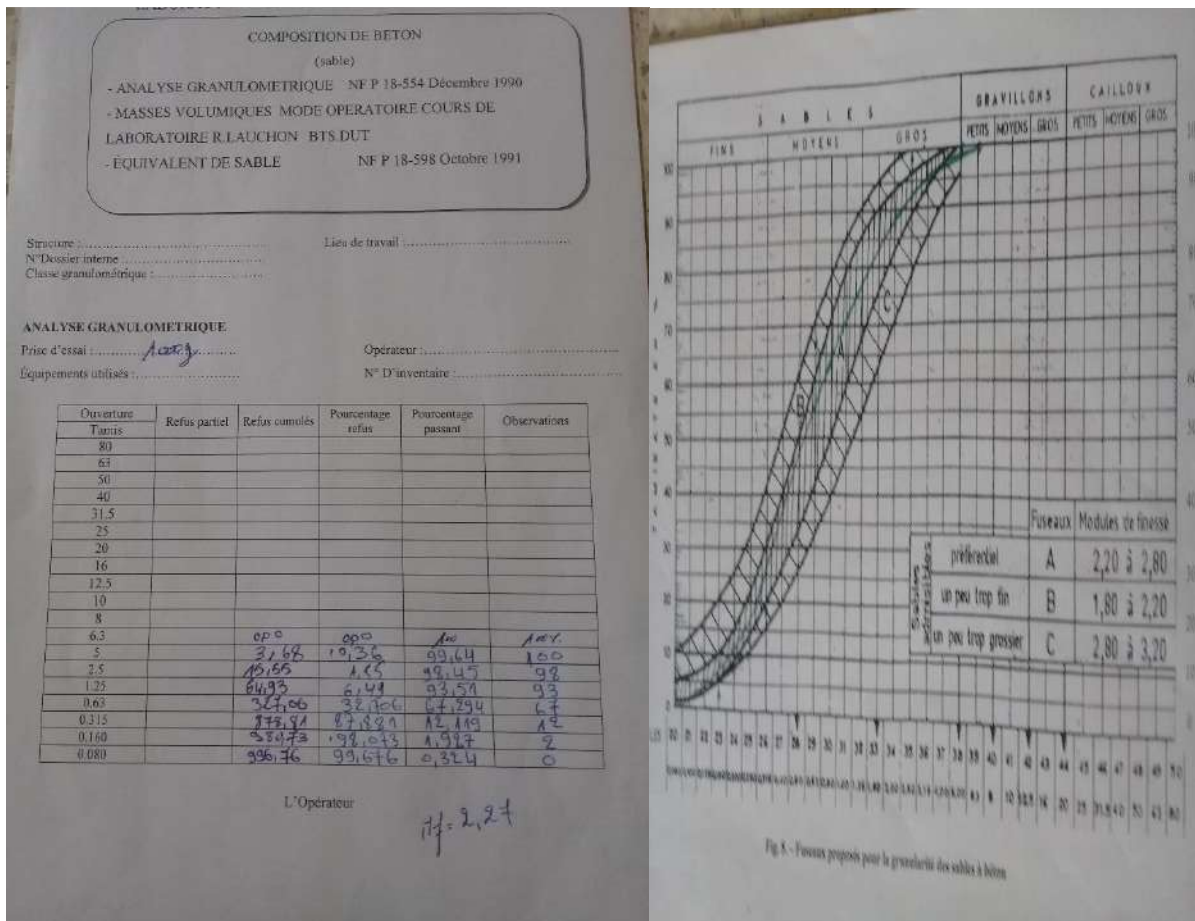


Photo 2 : Analyse granulométrique de sable.

**LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD**

**MASSE VOLUMIQUE APPARENTE ET ABSOLUE**  
**MODE OPERATOIRE COURS DE LABORATOIRE**

**R.LANCHON    BTS.DUT**

Structure : ..... Lieu de travail : .....

N° Dossier interne : ..... Date : .....

Échantillon : ..... Opérateur : .....

Équipements utilisés : ..... N° D'inventaire : .....

**Masse volumique apparente :**

Volume du récipient  $V = \dots 16,1,24\dots$   
Poids  $P = 53,10$   
 $P_1 + T = 311,01$  ;  $P_1 = 263,97$   
 $P_2 + T = 316,93$  ;  $P_2 = 263,87$   
 $P_3 + T = 316,41$  ;  $P_3 = 263,31$   
 $P_4 + T = 316,13$  ;  $P_4 = 263,08$   
Poids moyen  $M = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / 4 = 263,55$   
Masse volumique apparente  $P/V = \dots 1,634\dots$

**Masse volumique absolue :**

Poids des agrégats secs  $P_1 = \dots 300\dots$   
Poids du récipient plein d'eau  $P_2 = \dots 525,77$   
 $P_3 = P_1 + P_2 = \dots 825,77$   
Poids récipient + agrégats + eau =  $711,12$   
 $P_4 = \dots 711,12$   
Volume des agrégats  $V = P_3 - P_4 = \dots 114,65$   
Masse volumique absolue  $P_1/V = \dots 2,61\dots$

L'Opérateur Visa du responsable

Photo 3: la masse volumique apparente et absolue.

**LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD**

**ESSAI AU BLEU DE METHYLENE**  
NF P 94-068 Novembre 1993

Structure : ..... Lieu de travail : .....

N° Dossier interne : ..... Date : .....

Échantillon : ..... Opérateur : .....

Équipements utilisés : ..... N° D'inventaire : .....

INDICATEUR (CASANTE)				INDICATEUR (P)		
W	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>
PROB. GÉNÉRAL						
LA CLASSE						
LABOR.						
DATE						
OPÉ.						
W						
W <sub>1</sub>						
W <sub>2</sub>						
W <sub>3</sub>						
W <sub>4</sub>						
W <sub>5</sub>						
W <sub>6</sub>						
W <sub>7</sub>						
W <sub>8</sub>						
W <sub>9</sub>						
W <sub>10</sub>						
W <sub>11</sub>						
W <sub>12</sub>						
W <sub>13</sub>						
W <sub>14</sub>						
W <sub>15</sub>						
W <sub>16</sub>						
W <sub>17</sub>						
W <sub>18</sub>						
W <sub>19</sub>						
W <sub>20</sub>						
W <sub>21</sub>						
W <sub>22</sub>						
W <sub>23</sub>						
W <sub>24</sub>						
W <sub>25</sub>						
W <sub>26</sub>						
W <sub>27</sub>						
W <sub>28</sub>						
W <sub>29</sub>						
W <sub>30</sub>						
W <sub>31</sub>						
W <sub>32</sub>						
W <sub>33</sub>						
W <sub>34</sub>						
W <sub>35</sub>						
W <sub>36</sub>						
W <sub>37</sub>						
W <sub>38</sub>						
W <sub>39</sub>						
W <sub>40</sub>						
W <sub>41</sub>						
W <sub>42</sub>						
W <sub>43</sub>						
W <sub>44</sub>						
W <sub>45</sub>						
W <sub>46</sub>						
W <sub>47</sub>						
W <sub>48</sub>						
W <sub>49</sub>						
W <sub>50</sub>						
W <sub>51</sub>						
W <sub>52</sub>						
W <sub>53</sub>						
W <sub>54</sub>						
W <sub>55</sub>						
W <sub>56</sub>						
W <sub>57</sub>						
W <sub>58</sub>						
W <sub>59</sub>						
W <sub>60</sub>						
W <sub>61</sub>						
W <sub>62</sub>						
W <sub>63</sub>						
W <sub>64</sub>						
W <sub>65</sub>						
W <sub>66</sub>						
W <sub>67</sub>						
W <sub>68</sub>						
W <sub>69</sub>						
W <sub>70</sub>						
W <sub>71</sub>						
W <sub>72</sub>						
W <sub>73</sub>						
W <sub>74</sub>						
W <sub>75</sub>						
W <sub>76</sub>						
W <sub>77</sub>						
W <sub>78</sub>						
W <sub>79</sub>						
W <sub>80</sub>						
W <sub>81</sub>						
W <sub>82</sub>						
W <sub>83</sub>						
W <sub>84</sub>						
W <sub>85</sub>						
W <sub>86</sub>						
W <sub>87</sub>						
W <sub>88</sub>						
W <sub>89</sub>						
W <sub>90</sub>						
W <sub>91</sub>						
W <sub>92</sub>						
W <sub>93</sub>						
W <sub>94</sub>						
W <sub>95</sub>						
W <sub>96</sub>						
W <sub>97</sub>						
W <sub>98</sub>						
W <sub>99</sub>						
W <sub>100</sub>						

L'Opérateur responsable

F-5-Sab.03

Photo 5: essai au bleu de méthylène.

**LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD**  
**ÉQUIVALENT DE SABLE**  
 NA 452 | EN 933 - 3

Structure : ..... Lieu de Travail : .....  
 N° Dossier interne : ..... Date d'essai : .....

N° Série : Zone : ..... Fraction étudiée : .....  
 Saisie : Attrib : .....

Teneur d'humidité d'échantillon (%) : ..... Opérateur : .....

BALANCE N. Inv : ..... ETUVE N. Inv : .....

Echantillon	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 1	Eprouvette 2	Eprouvette 1	Eprouvette 2
Masse d'échantillon	120	120				
Hauteur totale (sable + flocculat) $H_t$ (cm)	10	9,5				
Hauteur de sable sédiment $H_s$ (cm)	8,8	8,3				
$ES = \frac{H_s}{H_t} \times 100$	88	87,36				
ES moyen (%)	87,68					

L'Opérateur : ..... Visa du responsable : .....

Photo 6 : équivalent de sable.

**LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD**  
**COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU**  
 NF P 18-554 Décembre 1990

Structure : ..... Lieu de travail : .....  
 N° Dossier interne : ..... Date : .....  
 Echantillon : ..... Opérateur : .....

Équipements utilisés : ..... N° D'inventaire : .....

Masse sèche du refus au tamis 4 mm : $M_s$	$M_s = 461,35$ g
Masse d'échantillon imbibé dans l'air : $M_a$	$M_a = 462,36$ g
$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100 = \frac{462,36 - 461,35}{461,35} \times 100 = 0,22$	$Ab = 0,22$ %

L'Opérateur : ..... Visa du responsable : .....

Photo 7 : coefficient d'absorption d'eau.





Photo 8 : malaxage et coulage de mortier



Photo 9 : Éprouvette d'un mortier et éprouvette d'un mortier avec la cendre.



Photo 10: Éprouvette d'un mortier après l'essai de flexion et compression.



Photo11: table de choc.



Photo 12: Dispositif d'essai de compression.



Photo14 : Dispositif d'essai par flexion.



Photo15 : broyeur.



Photo16 : Four de grande capacité.



photo17 : Les étapes essai de vika .



photo18 : Essai de maniabilité (Maniabilimètre) .

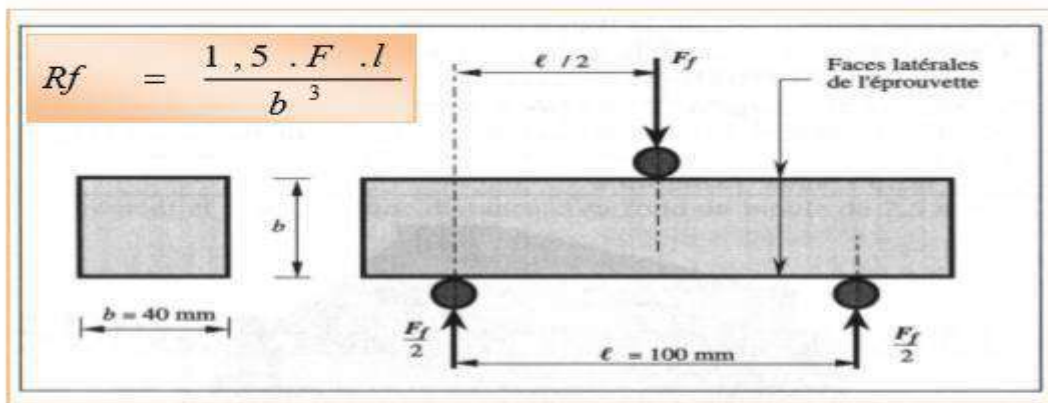


Figure 1: Essai mécanique de rupture par flexion.

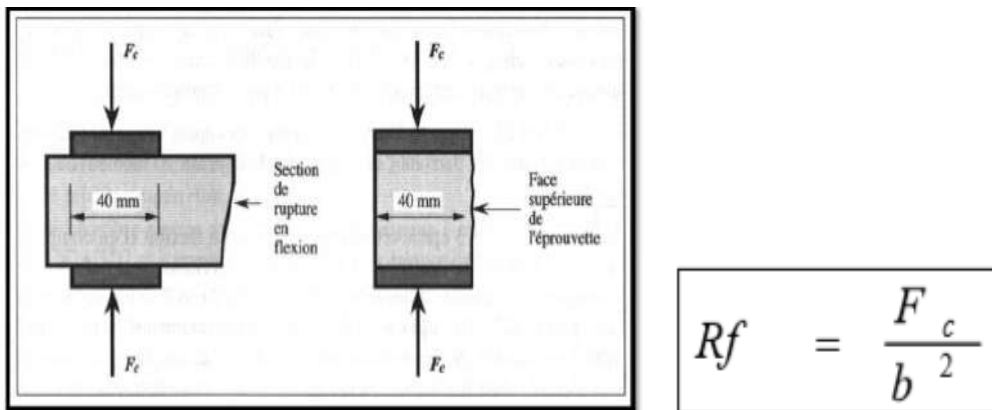


Figure 2: Résistance mécanique à la compression

E.S à visuel	E.S au piston	Nature et qualité du sable
ES < 65%	ES < 60%	<b>Sable argileux</b> : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène
65% ≤ ES < 75%	60% ≤ ES < 70%	<b>Sable légèrement argileux de propreté admissible</b> : pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton
75% ≤ ES < 85%	70% ≤ ES < 80%	à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES ≥ 85%	70% ≤ ES < 80%	<b>Sable très propre</b> : L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

Figure 3: Les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.

**FICHE TECHNIQUE**  
Réf : DC/FT MT. v03

**Analyses et caractérisation**

**Analyses chimiques**

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO <sub>3</sub> (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

**Composition hypothétique du clinker (Bogue)**

Silicates tricalciques C <sub>3</sub> S (%):	58 - 64
Silicates bicalciques C <sub>2</sub> S (%):	12 - 18
Aluminates tricalciques C <sub>3</sub> A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C <sub>4</sub> AF (%):	10,00 – 12,00

**Propriétés physiques**

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,5

**Temps de prise à 20°C (NA 230)**

Début de prise (min)	140 - 195
Fin de prise (min)	195 - 290

**Résistance à la compression (NA 234)**

02 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

Figure 4: fiche technique de ciment CEM II/B-L42.5.

	Résistance en MPA	
	Mortier normale	
	T	C
7j	9.84	21.25
14j	9.56	28.75
28j	12.65	35.62

Résistance en MPA						Résistance en MPA						Résistance en MPA					
400C°						600C°						800C°					
5%		10%		15%		5%		10%		15%		5%		10%		15%	
T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C
9.56	21.87	7.87	21.88	7.31	21.25	7.87	23.12	7.03	16.88	7.03	21.87	9.84	24.69	8.16	24.38	7.87	20
8.16	25	9	24.38	7.87	23.75	9.56	25	9.28	25	8.43	23.12	11.81	26.88	10.97	25.63	10.12	26.25
9.56	27.5	10.12	25	11.53	25	12.09	21.87	9.56	26.88	9.28	23.75	12.09	31.25	10.12	28.12	8.16	30

Avec :

T : traction par flexion.

C : compression.

j : jours.

Tableau 1 : Résistance à traction par flexion et à compression des mortiers normale et mortiers avec la cendre.