الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Civil



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Génie Civil

Option : Matériaux en Génie civil

THEME

Etude de comportement mécanique de durabilité d'un mortier de ciment avec un ajout d'une argile locale soumis dans un milieu acide

Réalisé et présenté par :

GALOUS Amel

AOUICHAT Amina

Proposé et encadré par :

Mr. BOUKSANI Omar

Juillet 2021

Remerciements

*Nous remercions **Dieu Tout-Puissant** qui nous a montré le chemin, et nous avons réussi à accomplir cet humble travail, et nous demandons de réussir dans ce monde et dans l'au-delà.*

*Nous adressons nos sincères remerciements au premier enseignant et leader réformateur notre maître, notre bien aimé et notre intercesseur «**Prophète Mohamed paix soit sur lui** ».*

*Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre profonde gratitude à notre promoteur « **Mr**. **Bouksani Omar** » pour leur disponibilité, leurs aides durant tout le déroulement de ce projet. Grâce à leurs conseils scientifiques et suivi, nous avons pu mener à terme notre travail, nous remercions aussi les responsables du laboratoire en génie civil et la société SETAM pour leurs aides.*

*A toute la famille de Génie Civil des étudiants, des professeurs et des ouvriers en général, et **la promotion 2021 Matériaux En Génie Civil** en particulier.*

Et nous n'oublions certainement pas nos parents nos amis ainsi tous ceux qui nous ont aidés dans notre tâche, nous leur dirons Merci.

Dédicace

Je tiens à dédier ce mémoire :

À la bougie silencieuse qui brûle pour éclairer notre chemin, à la fontaine de tendresse et le flot de sécurité, mon étoile brillante, mon doux nuage, mon chaud soleil et ma fleur de Lys

« Ma Mère…Ma Mère… Ma Mère ***FERRAH Elkaima*** *».*

Aucune dévotion ne peut exprimer mon respect, mon amour éternel et mon appréciation pour les sacrifices que vous avez faits pour nous pour l'éducation et le bien-être de moi et mes frères. Merci pour tout le soutien et l'amour que vous nous avez donnée depuis que nous somme enfants. Merci d'avoir joué les deux rôles (père, mère) en tout temps et tout lieu. Que cet humble travail soit l'accomplissement de vos longs désirs, le fruit de vos innombrables sacrifices, même si je ne pourrai jamais assez faire pour vous. Que le DIEU vous accorde santé, bonheur et longue vie.

À l'âme de mon cher père absent, qui est toujours présent dans mon cœur « ***Mohamed El Hadj*** *», que DIEU me rassemble avec lui dans les jardins du paradis.*

À mes copines de mon cœur, mes yeux dans lesquels je vois la vie, la poitrine sur la quelle je pose ma tète, mes chères sœurs « ***Fatiha***, ***Souhila***, ***Hanane*** *et leurs petites familles; et la plus belle entre elles* ***Fatma,*** *que* ***DIEU*** *pour pourvoie à elle selon ses intentions ».*

À la joie de vivre et l'extase de la vie mes chères frères« ***Laid***, ***Abdelhay*** *et leurs petites familles ».*

À mon compagnon de vie, mon cher marie « ***Hicham*** *et sa famille ».*

À ma grand-mère « ***Aichouche*** *» qui n'a pas lésiné sue ses prières tout le temps; À mes autres grands parents et grand-mère* ***RAHIMAHOMO ALLH***

À mon amie d'enfance « ***YAHYAOUI Leila****»; À mes copines de vie, mes adorables «* ***YAGOUB Khoula***, ***YAGOUB Rania »*** *ET* ***« YAGOUB Linda*** *et sa petite famille ».*

*À tout les familles de «****GALOUS, FERRAH, OMRI, KIROUANE, ABIZA, CHERFAOUI****» sans exception.*

À mon binôme ***AOUICHAT Amina*** *qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.*

Amel

Dédicace

Je tiens à dédier ce mémoire

A mon cher Père et ma chère Mère en témoignage en gratitude de leur dévouement de leur soutien permanent durent toutes mes années d'études leurs sacrifié est illimités leurs réconfort moral aux qui ont consenti tant d'effort

Pour, on éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but, pour *tout cela et pour ce qui ne peut être dit mes affections sans limite*

Merci mes parents

A mes chères *sœurs :* ***Sirine Fedoua Anfel Rawan***

A mon cher marie ***Mohamed***

A toute ma famille ***Aouichat, Hamzaoui, Alliliche***

A mes chères amies ***Amina, Touha, Noura, Chaz***

A toutes la promotion de génie civile 2021

A mon binôme ***Galous Amel*** *qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail*

Amina Randa

ملخص

حاليا، الدياتوميت لا يستخدم على نطاق واسع في صناعة مواد البناء، ومع ذلك عند استعماله مع الاسمنت فإنه من الممكن أن يعدل الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة و الملاط.

.الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تثمين استعمال الدياتوميت الخام، في صياغة ملاط الاسمنت

في هذا السياق تم تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للدياتوميت الخام، عن طريق استبدال الاسمنت جزئيًا بنسبة 5، 10، 15، 20، 25، 30 و 50٪ من الدياتوميت لكل تركيبة.

تم تنفيذ تأثير جرعة التراب الدياتومي على السلوك الليوني والمتصلب مع الملاط الاسمنتي. بعد ذلك تم إجراء دراسة حول المتانة فيما يتعلق ببيئات الحمض والكبريتات.

أظهرت النتائج أن دمج الدياتوميت في الملاط يمنحها نجاعة متعددة مقارنة بالملاط الاسمنتي العادي.

عندما يتم صياغة ملاط الدياتوميت فإن الزيادة في نسبة الماء / (وزني الاسمنت + الدياتوميت) قد حسنت الخصائص الفيزيائية بشكل كبير من خلال الانخفاض الكبير في الموصلية الحرارية والكثافة، هذا على حساب انخفاض ملحوظ في قواتها الميكانيكية مقارنة بتلك الموجودة في الملاط العادي.

RESUME

La diatomite est rarement utilisée dans la fabrication des matériaux cimentaire. Pourtant, lorsqu'elle est jointe au ciment, elle peut modifier les propriétés physiques et mécaniques des bétons et des mortiers.

L'objectif principal de ce travail est de valoriser l'incorporation de la diatomite dans la formulation des mortiers de ciment. Dans ce contexte, des mortiers seront confectionnés par un remplacement partiel du ciment par des pourcentages de 5, 10, 15, 20,25, 30 et 50% de diatomite.

Pour chaque composition, l'effet du dosage de la diatomite sur le comportement à l'état frais et durci des mortiers formulés a été réalisé. Par la suite une étude de la durabilité vis-à-vis des milieux acide et sulfatique a été effectuée.

Les résultats ont montré que l'incorporation de la diatomite dans le mortier, lui confère des performances acceptables par rapport au mortier ordinaire et des caractéristiques physiques important à travers la réduction significative de la conductivité thermique et de la densité.

ABSTRACT

Diatomite is rarely used in the manufacture of cementitious materials. However, when joined with cement, it can change the physical and mechanical properties of concrete and mortars.

The main objective of this work is to promote the incorporation of diatomite in the formulation of cement mortars. In this context, mortars will be made by partially replacing the cement with percentages of 5, 10, 15, 20.25, 30 and 50% of diatomite.

For each composition, the effect of the dosage of diatomaceous earth on the fresh and hardened behavior of the formulated mortars was carried out. Subsequently, a study of the durability with respect to acid and sulphate environments was carried out.

The results showed that the incorporation of diatomite in the mortar gives it acceptable performance compared to ordinary mortar and important physical characteristics through the significant reduction in thermal conductivity and density.

SOMMAIRE

TITRES **PAGE**

Remerciement…….....

Dédicace…….....

Résumé Arabe…….....

Résumé Français …….....

Résumé Anglais…….....

Listes des figures…….....

Liste des tableaux…….....

Symboles et abréviation…….....

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPTRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHYQUE

I.1 Définition de la diatomite…….....**.....** 3

I.2 Propriétés des diatomites…….....**.....** 3

I.3 Domaines d'utilisation …….....……...... 3

I.4 Reserve et Production mondiale…….....…….…….**.....** 5

I.5Exploitation et Production de la diatomite locale…….....…….…….. 7

I.5.1 Extraction de diatomite …….....**.....** 7

1.5.2Transport de la diatomite :…….…….....**.....** 9

I .5.3 Séchage de la diatomite…….....**.....** 10

I .5.4 Broyage…..…….....**.....** 10

I.6 Propriétés de ciment - diatomite **.....** 11

I.6.1 Propriétés de ciment - diatomite à l'état Frais…….....**.....** 11

I.6.1.1.Maniabilité et Ouvrabilité …….....**.....** 11

I.6.1.2 Temps de prise.…….....**.....** 13

I.6.2 Propriétés du ciment- diatomite à l'état Durci……. 14

I.6.2.1 Résistance la compression……..….....**.....** 14

I.6.2.2 Influence du Superplastifiant…….…….....**.....** 16

I.6.2.3 Effet de la finesse de la diatomite…….....**.....** 17

.I.6.2.4 Résistance à la Traction…….....**.....** 19

I.7 Durabilité des mortiers**.....** 20

I.7.1 Durabilité des mortiers dans Les milieux agressifs ……..... 22
A. Milieux acides..... 22
B. Milieu sulfatique…… 23
C. Milieux basique…….. 23
I.7.2 Hydratation système ciment diatomite 24
I.7.2.1 Hydratation ciment …… 24
I.7.2.2 Réaction pouzzolaniques…… 25

CHAPTRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

II.1.Introduction……..... 26
II.2. Matériaux utilisés……..... 27
II.2.1 Ciment……..... 28
II.2.2 Sable……..……..... 29
II.2.3. Adjuvant……..……..... 30
II.2.4. Eau de gâchage……..……..... … 31
II.2.5. Diatomite ……..……..... 32
II.3Préparation des Formulations et essai de caractérisation……..... 34
II.3.1. Préparation et séquence de malaxage des pâtes de ciment……..... 37
II.3.2 Etape de remplissage des moules ……..... 41
II.4. Essai de caractérisation des pâtes et mortier..……..... 42
II.4.1. Essai de caractérisation à l'état frais…….……..... …. 43
II.4.1.1Affaissement au mini cône (MBE) ……..... 43
II.4.1.2 Maniabilité LCL……..... 43
II.4.1.3 Masse volumique apparente ……..... 44
II.4.1.4 Temps de prise du ciment……..... 44
II.4.2 Essai de caractérisation à l'état durci……..... 45
II.4.2.1Resistance à la flexion……..... 45
II.4.2 .2Résistance à la compression……..…..... 45
II.4.2.3 Conductivité thermique……..... 46
II.5. Essais de durabilité ……..... 47
II.5.1 Essai de porosité ……..... 47
II.5.2 Essai d'absorption d'eau par capillarité……..... 48

II.5.3 Durabilité vis-à-vis au milieu agressif……..... 49
II.5.3.1. Mesure de la variation de masse…….……..... 49
II.5.3.2. Mesure variation du PH ……..... 50
II.5.3.3. Préparations des Solution Acides…….……..... 51
A. Solution d'Acide chlorhydrique (HCl)……..... 51
B. Solution de sulfate de calcium ($CaSO_4$, 2 H_2O) : 52
II.5.3.4 Préparation des Solutions Basiques……..... 53
A. Solution de chlorure de sodium (NaCl)…….. 53
B. Solution d'Hydroxyde de sodium(NaOH)…….. 54

CHAPITRE III : RESULTAT ET INTERPRETATION

III.1. Introduction …… 55
III.2.Caractérisations des mortiers à l'état frais……. 55
III.2.1.Besoin en eau (maniabilité) et affaissement au muni cône ……. 55
III.2.2 Densité ……. 56
III.2.3 Temps de prise …… 56
III.3 Caractérisations des mortiers a l'état durci……. 57
III.3.1 Propriétés physiques…… 57
III.3.1.1 Densité…….. 57
III.3.1.2 Porosité…….. 57
III.3.1.3. Conductivité thermique…… 58
III.3.2 .Propriétés mécaniques…… 59
III.3.2.1. Résistance à la flexion…….. 59
III.3.2.2.Résistance à la compression…… 59
III.4. Essai de Durabilité……. 60
III.4.1. Absorption d'eau par capillarité…….. 60
III.4.1.A. Mortier diatomite Sans superplasctifiant…… 60
III.4.1.B. Mortier diatomite Avec superplasctifiant …..…… 60
III.4.2. Durabilité vis-à-vis des milieux agressifs……... 62
III.4.2.1 Solutions Acides……..... 62
A. Solution d'Acide chlorhydrique (HCl)……... 62
B. Solution de sulfate de calcium ($CaSO_4$, 2 H_2O…… 64

III.4.2.2 Solution basique ……. 66
A. Solution de chlorure de sodium (NaCl)……... 66
B. Solution d'Hydroxyde de sodium (NaOH)……. 68
CONCLUSION GENERALE 70
Références bibliographiques……...
Annexes……..

LISTES DES FIGURES

Figure	TITRE	PAGE
	CHAPTRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHYQUE	
Figure I.1	Macrostructure vers microstructures d'une diatomite	3
Figure I.2	Chemin de production la diatomite	7
Figure I.3	Site de l'extraction de diatomite	8
Figure I.4	Mode d'exploitation de gisement d'une mine souterraine	9
Figure I.5	Pelle chargeuse et camion pour transport	10
Figure I.6	Diamètre d'étalement des pâtes de ciment en fonction de dosage en diatomite	11
Figure I.7	Viscosité de la pâte de ciment par rapport aux niveaux de remplacement de la diatomite	11
Figure I.8	Evolution de l'affaissement en fonction du rapport eau/liant	12
Figure I.9	La variation du réglage final en fonction du rapport des diatomites.	13
Figure I.10	Diminution de la Résistance à la compression des mortiers avec diatomite	15
Figure I.11	Effet du dosage de la diatomite sur la résistance à la compression [zahalkova2016] [degirmen]	15
Figure I.12	Augmentation de la Résistance à la compression des mortiers avec diatomite [Ahmadi]	16
Figure I.13	Effet du superplastifiant sur la résistance à la compression Ahmadi [2018]	16
Figure I.14	Résistance à la compression du mortier pour la diatomite waikaukau - tous les mélanges utilisant un ajustement à l'eau pour une ouvrabilité égale	17
Figure I.15	Résistance à la compression du mortier pour la diatomite Ngakuru - tous les mélanges utilisant l'ajustement de l'eau pour une ouvrabilité égale	17
Figure I.16	variation de la résistance à la compression du mortier normalisé pour la diatomite waikaukau broyé à une finesse de 300 m² / kg par rapport à celle de 500 m²/kg	18
Figure I.17	variation de la résistance à la compression du mortier normalisé pour la diatomite Ngakuru broyée à une finesse de 300 m² / kg par rapport à celle de 500m²/kg	18

Figure I.18	Augmentation de résistance à la traction en fonction du dosage en Degirmen 2009	19
Figure I.19	Diminution de résistance à la traction en fonction du dosage en diatomite zahalkova 20	19
	CHAPTRE II : MATERIAUX ET ESSAIS	
Figure II.1	Schéma présente les matériaux utilisés à l'étude	**27**
Figure II.2	Echantillon de ciment	**28**
Figure II.3	Distribution granulaire du sable (0/2)	**29**
Figure II.4	Echantillon de sable	**29**
Figure II.5	Super plastifiant Sikaplast BV40+	**30**
Figure II.6	Eau distillé	**31**
Figure II.7	Eau potable	**31**
Figure II.8	Echantillon poudre de diatomite	**32**
Figure II.9	Courbe de l'analyse granulométrique de la diatomite	**32**
Figure II.10	Présente les différents essais réalisés pour déterminer les caractéristiques physiques et chimiques pour la diatomite	**33**
Figure II.11	Formulation et variables étudiées	**35**
Figure II.12	Procédure de malaxage des pâtes de ciment sans super plastifiant	**39**
Figure II.13	Procédure de malaxage des pâtes de ciment avec super plastifiant	**39**
Figure II.14	Préparation et séquence de malaxage des mortiers	**40**
Figure II.15	Procédure de malaxage des mortiers	**40**
Figure II.16	Essai d'affaissement au mini cône.	**43**
Figure II.17	Essai au maniabilimètre LCPC__B	**43**
Figure II.18	Essai de masse volumique à l'état frais	**44**
Figure II.19	Essai de temps de prise par l'appareil de Vicat	**44**
Figure II.20	Essai de traction par flexion 3 points	**45**
Figure II.21	Essai de compression	**45**
Figure II.22	Essai de conductivité thermique	**46**
Figure II.23	Essai de porosité	**47**
Figure II.24	Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortiers	**48**
Figure II.25	La mesure de masse durant l'immersion aux acides	**49**

Figure II.26	Bandelettes à lecture de PH	**50**
Figure II.27	La lecture de PH durant l'immersion aux acides	**50**
Figure II.28	Acide chlorhydrique (HCl)	**51**
Figure II.29	Mesure de la résistance à l'acide (HCl)	**51**
Figure II.30	Sulfate de calcium ($CaSO_4$, 2 H_2O)	**52**
Figure II.31	Mesure de la résistance à sulfate ($CaSO_4$, 2 H_2O)……	**52**
Figure II.32	Chlorure de sodium (NaCl)	**53**
Figure II.33	Mesure de la résistance au chlorure de sodium (NaCl)	**53**
Figure II.34	Hydroxyde de sodium (NaOH)	**54**
Figure II.35	Mesure de la résistance à l'Hydroxyde de sodium (NaOH)	**54**
	CHAPITRE III : RESULTAT ET INTERPRETATION	
Figure III.1	Besoin en eau en fonction des différents dosages de diatomite	**55**
Figure III.2	Temps découlement et affaissement au mini cône des mortiers enfonction des différents dosages de diatomite	**55**
Figure III.3	Densité des mortiers à l'état frais en fonction des différents dosages de diatomite	**56**
Figure III.4	Le temps de prise en fonction des différents dosages de diatomite	**56**
Figure III.5	La densité a l'état durci en fonction de différents dosages de diatomite	**57**
Figure III.6	La porosité en fonction de différents dosages de diatomite	**57**
Figure III.7	Les résultats de la conductivité thermique en fonction des différents dosages de diatomite	**58**
Figure III.8	Resistance à la flexion en fonction des différents dosages de diatomite	**59**
Figure III.9	Résistance à la compression en fonction des différents dosages de diatomite	**59**
Figure III.10	Absorption d'eau en fonction de différents dosages de diatomite sans superplasctifiant	**60**
Figure III.11	Absorption d'eau en fonction de différents dosages de diatomite avec superplasctifiant	**61**
Figure III.12	Allure des éprouvettes avents et âpres immersion dons la solution HCl	**62**
Figure III.13	Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution HCl	**63**
Figure III.14	Variation de PH de HCl en fonction des jours	**63**
Figure III.15	Allure des éprouvettes avents et âpres immersion dons la solution ($CaSO_4$, 2 H_2O)	**64**

Figure III.16	Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution ($CaSO_4$, 2 H_2O)	**65**
Figure III.17	Variation de PH de ($CaSO_4$, 2 H_2O) en fonction des jours	**65**
Figure III.18	Allure des éprouvettes avents et âpres immersion dons la solution NaCl	**66**
Figure III.19	Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution NaCl.	**67**
Figure III.20	Variation de PH de NaCl en fonction des jours	**67**
Figure III.21	Allure des éprouvettes avents et âpres immersion dons la solution NaOh	**68**
Figure III.22	Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution NaOh	**69**
Figure III.23	Variation de PH de NaOh en fonction des jours	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	TITRE	PAGE
	CHAPTRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHYQUE	
Tableau I.1	Proprieties diatomite	4
Tableau I.2	Production mondial de la diatomite (KT)	5
Tableau I.3	Décrit de la structure d'un gisement d'une mine souterraine	8
Tableau I.4	Temps de début et fin de prise de pâtes de ciment avec différentes rapport E\C et dosage en diatomite.	14
Tableau I.5	Produits chimiques et leurs effets	21
	CHAPTRE II : MATERIAUX ET ESSAIS	
Tableau II.1	Compositions chimique et minéralogique et les caractéristiques Physico-mécaniques du ciment CEM II 42.5 R	28
Tableau II.2	Caractéristique physique du sable	29
Tableau II.3	Caractéristiques du super plastifiant Sikaplast BV40+	30
Tableau II.4	La composition chimique et les caractéristiques physiques et compositions chimiques de cette diatomite.	33
Tableau II.5	Composition des mélanges de mortier de (ciment + diatomite+ sable)	36
Tableau II.6	Composition des mélanges de pâte de (ciment + diatomite)	36
Tableau II.7	Composition des mélanges de pâte de (ciment + diatomite)	36
Tableau II.8	Etape malaxage des pâtes de (ciment + diatomite)avec et sans super plastifiant	38
Tableau II.9	Essais réalisées sur Mortiers et pâtes de ciment.	42

SYMBOLES ET ABREVIATIONS

CEMII42.5R	Ciment portlondite artificielle classe 42.5
E/C	Rapport eau sur ciment
Mair	Masse de l'éprouvette d'essai, pesée dans l'air (g)
M eau	Masse de l'éprouvette d'essai, pesée dans l'eau (g)
Msec	Masse de l'éprouvette d'essai, séché à 105ºC (g)
M initiale	Masse de l'éprouvette d'essai avant l'absorption dans l'eau (g)
M finale	Masse de l'éprouvette d'essai après l'absorption dans l'eau (g)
MV	Masse volumique de mortier (kg/m^3)
M_1	la masse des éprouvettes avant l'immersion dans la solution (g).
M_2	la masse des éprouvettes après l'immersion dans la solution (g).
Pw	les échantillons ont été immergés dans l'eau jusqu'à saturation
P_{WV}	la Porosité Totale du matériau
Rc	Résistance mécanique à la compression
Rtf	Résistance mécanique à la traction par flexion
HCl	Acide chlorhydrique
NaOH	Hydroxyde de sodium
NaCl	Chlorure de sodium
($CaSO_4$, 2 H_2O)	Solution de sulfate de calcium
MgSo4	Sulfate de magnesium
CH3COOH	Acide Acétique
Caso4	Sulfate de calcium

INTRODUCTION GENERALE

L'idée du thème est née pour valoriser le minerai de la diatomite qui existe d'une façon abondante en Algérie, notamment dans sa région nord-ouest. La valorisation cible l'utilisation de la diatomite dans les matériaux de génie civil.

Le domaine de l'industrie de construction en génie civil s'intéresse à la fabrication économique des ciments écologiques, à l'amélioration des résistances mécaniques et donne surtout à la modification des caractéristiques physiques des matériaux cimentaires une attention particulière.

En parallèle avec les pays situés dans les zones froides (pays d'Europe du nord) et les pays à climat chaud (golf persique) qui s'intéressent à la fabrication des mortiers et des bétons avec une meilleure isolation thermique, la diatomite peut constituer un axe de recherche très intéressant.

En effet, suite à la nature friable et du caractère pouzzolanique de la diatomite, et suite à ses propriétés physiques, une attention particulière sera dégagée pour la valorisation et à la vulgarisation de l'utilisation de la diatomite soit comme ajout dans la fabrication du ciment ou comme un produit de béton plus légers et plus isolants.

Le but de ce mémoire est d'incorporer la diatomite dans la confection des mortiers. Il s'agit de trouver quel dosage de la diatomite qui assure des résistances mécaniques et des performances thermiques mortier de ciment.

Plan de Travail

En plus de l'introduction générale et de la conclusion générale, le présent mémoire s'articule autour de trois (03) chapitres.

Le ***premier chapitre*** est consacré à la synthèse bibliographique sur la définition de la diatomite, les procédés de sa production, ses caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques.

Le deuxième chapitre trace le programme expérimental. Il présente les différents matériaux utilisés et décrit la méthodologie des essais à effectuer pour déterminer les propriétés mécaniques, les caractéristiques physiques des mortiers.

Le ***troisième chapitre*** détaille les résultats expérimentaux en trois parties : la première présente les résultats de l'étude des propriétés à l'état frais et durci des mortiers formulés. La

deuxième partie illustre le comportement physique de ces mortiers. Tandis que**,** la troisième présente les résultats du comportement des mortiers en différent milieux agressifs.

A la Fin de ce mémoire, une conclusion finale est dressée suivie par des recommandations.

I. 1 Définition de la diatomite

La diatomite est une roche d'origine sédimentaire siliceuse. Elle est légère, d'une couleur blanche ou grise, poreuse et friable. Elle est d'origine organique, qui résulte du dépôt des coquilles de diatomées. La forme et la nature de ces diatomées est estimée à 12.000 espèces qui se forment dans les sédiments des eaux douces, marines, saumâtres ou dans les sols humides. figure(I.1).

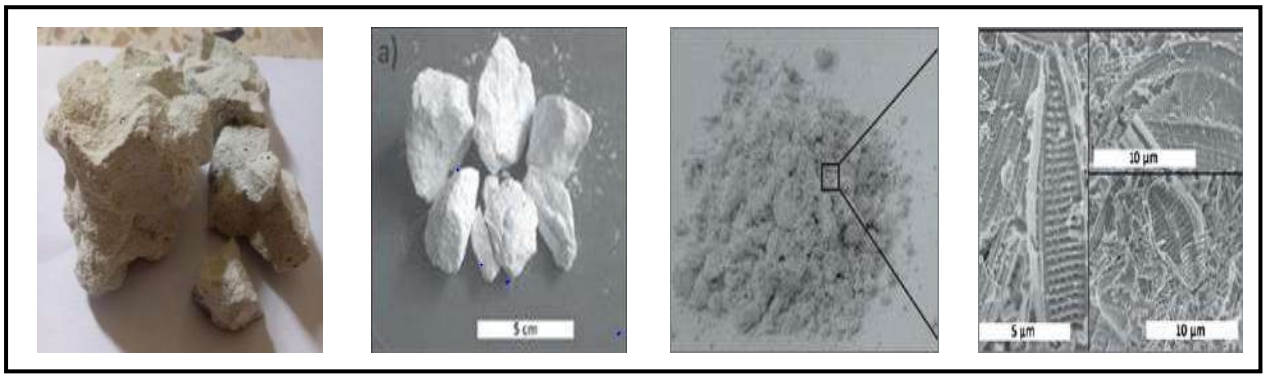


Figure I.1: Macrostructure vers microstructures d'une diatomite. **[1]**

I.2 Propriétés des diatomites

La genèse de la diatomite lui confère des caractéristiques particulières telles qu'une grande légèreté, une grande porosité, un grand volume des pores et une capacité d'adsorption élevée. Les propriétés de la diatomite peuvent être variées par des traitements par calcination ou par activation. Le tableau 1 montre les différentes propriétés des diatomites**. [3]**

I.3 Domaines d'utilisation

Les principales applications de la diatomite dans le monde sont en fonction de ses propriétés particulières. En domaine de construction, la diatomite est utilisée dans différents applications :

A- production de matériaux résistant au feu tel que les briques réfractaire, canalisations de chaudières ou les bétons calorifuges. La diatomite peut être aussi utilisée mortier de remplissage ou brique dans l'isolation thermique et acoustique des constructions.

B- Fabrication des bétons légers et des pièces de maçonneries légères (briques pour dômes).

C- Fabrication des liants hydraulique. Grâce à nature silicique et sa grande surface spécifique, la diatomite permet de se combiner avec la chaux.

D- Amélioration des caractéristiques du béton frais, tel que l'homogénéité et la maniabilité et le temps de prise

E- Amélioration les caractéristiques du béton durci, à travers propriétés pouzzolaniques de la diatomite la densification de la microstructure du béton.

Tableau I.1: Propriétés de la diatomite. **[3]**

		naturel	**calciné**	**Activée (fluxé)**
Aspect macroscopique		Roche friable	poudre	poudre
Couleur		Blanche, grise	Rose, beige rosée, brune	blanche
Aspect microscopique				
Diamètre moyen particule (um) 50- 150 um		2.5-4.4	7-11	2-4
		10-16.1	25-37	6-20
		30-58.9	65-97	1.11-0.058
Granulométrie		10 - 200 um		
Porosité (%)		40-60	65-85	65-85
Diamètre moyen des pores (um)		1.5 - 2.5	3.5-5	7-22
Surface spécifique (m^2/g)		10-20	4-6	1-4
Densité apparente (g/cm^3)		2	2.25	2.33
Densité absolue (g/cm^3)				
Point de fusion		1400-1750° C		
Absorption d'eau (Nbr fois de propre poids liquide)		3-4		
Absorption d'huile (Nbr fois de propre poids liquide)				100-210
Conductivité thermique (W (m K).		0,05 à 0,10		
Perméabilité (cm/s) darcy 10^{-3}		0.06	0.5-2	1-30

Abrasion			
Solubilité dans l'eau (%)	1.9		
Humidité (%)	1.3	0.5-1	0.1
Indice de réfraction	1.4-1.6	1.44	1.48
Inertie chimique	bonne		
Ph	6-9	6-8	6-10
PAF (%)	1		

I.4 Reserve et Production mondiale

La production mondiale totale de diatomite est d'environ 2,9 MT en 2013. Les États-Unis est le premier producteur et consommateur dans le monde de diatomite (environ 40% de la production mondiale). La production de diatomite aux États-Unis en 2013 a été estimée à 7350 kt. La Russie produit 4% de la diatomite dans le monde, dont 96% est utilisé pour la production de matériaux d'isolation thermique.

Tableau I.2: Production mondial de la diatomite (en Kilo Tone). **[3]**

Pays	2012	2013	2014	2015	2016
Algérie	2.13	2.007	2.415	2.360	2
Argentine	278	209	200	200	200
Australie	20	20	20	20	20
Brésil	5	4	8	8	8
Canada					
Chili	23	27	31	26	26
Chine	420	420	420	420	420
Colombie					
Corée du sud	6	34	66	70	70
Costa-rica	4	4	4	4	4
Danemark	407	472	437	440	440
Espagne	61	54	60	62	50
Etats unis	735	782	901	832	686
France	5	85	90	90	75
Hongrie	1	3	1	1	1

Iran	10	10	10	10	10
Islande					
Italie	25	25	25	25	25
Japon	100	90	90	100	100
Kenya					
Macédoine					
Maroc					
Mexique	85	87	88	90	90
Pérou	94	125	151	121	120
Pologne					
Portugal					
Russie	70	70	72	70	70
Turquie	86	85	62	60	60
Tchèque	440	392	449	451	450
Production totale	2890	2920	3230	3140	2990

I.5 Exploitation et Production de la diatomite locale

Les matériaux extraits subissent différentes phases de traitement : séchage, broyage, sélection, calcination avec ou sans ajout de fondant. A une granulométrie fine, la diatomite broyée allie une faible densité, une grande porosité et une surface spécifique élevée.

Le gisement de diatomite, qui date vers la limite Miocène – Pliocène, est exploité par une exploitation.

Après l'extraction et le concassage, la diatomite est séchée, broyée puis épurée pour atteindre sa forme pulvérulente. La figure (I.2) représente chemin de production la diatomite.

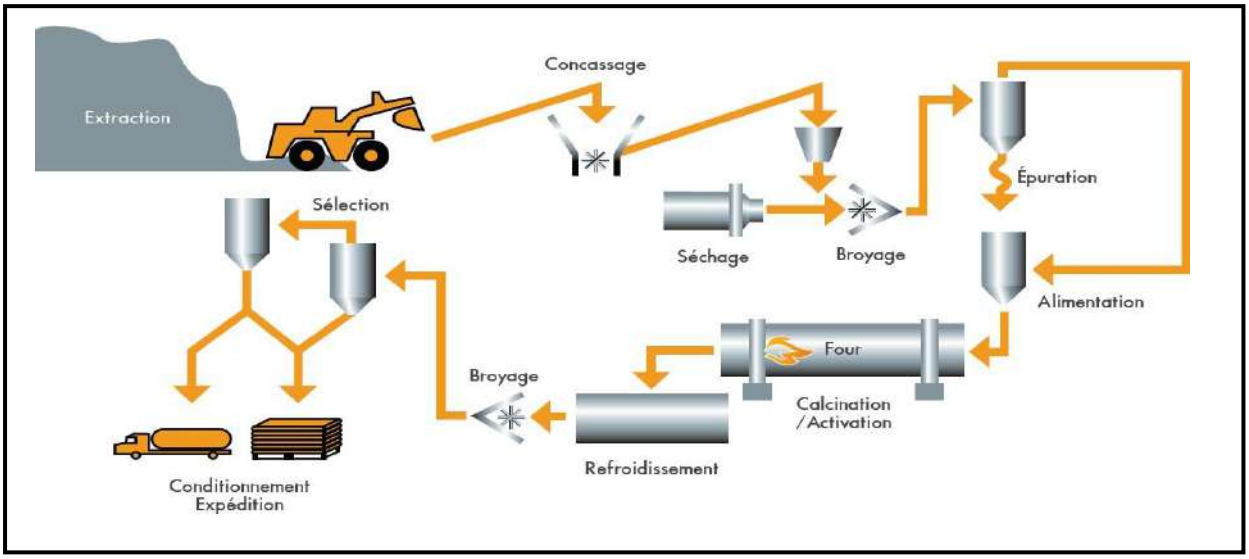


Figure I.2 : Chemin de production la diatomite. **[1]**

I.5.1 Extraction de diatomite

Selon la profondeur du gisement, les conséquences environnementales sur le milieu extérieur ainsi le coût d'extraction, les mines de diatomite peuvent être exploitées selon deux ou trois types de gisement :

Gisement à ciel ouvert :

Après l'enlèvement de la quantité considérable de mort-terrain qui représente la couche recouvrant le minerai. Les carrières à ciel ouvert seront formées de bancs successifs de deux à quinze mètres sous forme de gradins.

Vu l'aspect peu consolidé et l'état friable de la diatomite, L'extraction ne se fait pas à l'aide d'explosifs mais par moyens mécanisés traditionnels (pelles hydrauliques ressemblant à des

tractopelles, bulldozers, chargeuses, scrapers, camions), et peut être sélective (parfois avec tri manuel dans les petites exploitations). La figure(I.3) représente le site de l'extraction de diatomite**.[1]**



Figure I.3 : Site de l'extraction de diatomite. **[1]**

Gisement à mine souterraine :

Un gisement à mine souterraine est adopté lorsqu'une exploitation souterraine est nécessaire, c.-à-d lorsque le minerai se trouve à un niveau trop profond; figure(I.4). Un gisement à mine souterraine est constitué d'un immense réseau de tunnels verticaux et horizontaux permettant d'atteindre le gisement minier ; Le tableau (I.3) illustre cela.

Tableau I.3 Décrit de la structure d'un gisement d'une mine souterraine**. [1]**

Rampe d'accès	-Large tunnel en spirale qui communique avec tous les niveaux de la mine. -Elle permet aux véhicules d'accéder rapidement aux galeries des différents niveaux.
Galeries	-Longs tunnels qui conduisent au gisement à extraire.
Puits d'accès	-Passage vertical utilisé pour descendre de l'équipement et de la machineriesous terre. -Transporter le personnel et remonter le minerai à la surface.
Puits d'aération	-Garantir la ventilation, la filtration ainsi que le contrôle de la température et de la qualité de l'air dans les galeries.





Figure I .4 : Mode d'exploitation de gisement d'une mine souterraine. **[1]**

1.5.2 Transport de la diatomite :

Une fois extraites, les diatomites sont chargées par des pelles et transporté par d'immenses camions, vers l'usine pour subir des traitements dont la nature varie selon leur degré de pureté et leur domaine d'application. La Figure (1.5) représente la Pell chargeuse et camion pour transport.



Figure I.5 : Pelle chargeuse et camion pour transport**. [1]**

Afin d'assurer le fonctionnement du gisement, La diatomite est stockée et l'énergie solaire permettra de l'assécher avant de la transformer

I .5.3 Séchage de la diatomite

En raison de sa très grande porosité, la diatomite extraite contient 50 à 60 % d'humidité. L'opération de séchage est réalisée à des températures de l'ordre de 600° C en une ou deux phases (dans un séchoir ou dans un sécheur-broyeur à broche). Cette opération de séchage conduit à l'obtention d'un produit contenant 4 à 5 % d'humidité.

I .5.4 Broyage

L'acheminement depuis la carrière à l'aide de camions : la diatomite subit un concassage, afin de réduire la dimension de ses grains.

Le minerai est ensuite broyé doucement afin de préserver la structure des diatomées qui donnent à ses propriétés remarquables.

I.6 Propriétés de la pate (ciment - diatomite)

I.6.1 Propriétés de la pate à l'état Frais

I.6.1.1.Maniabilité et Ouvrabilité

Selon des études expérimentales de Ferraris **[4];** Wallevik**, [32],** l'augmentation du dosage en diatomite entraîne une perte de l'ouvrabilité. Ils ont constaté une diminution du diamètre d'écoulement des bétons fabriqués avec diatomite (figure I.6).

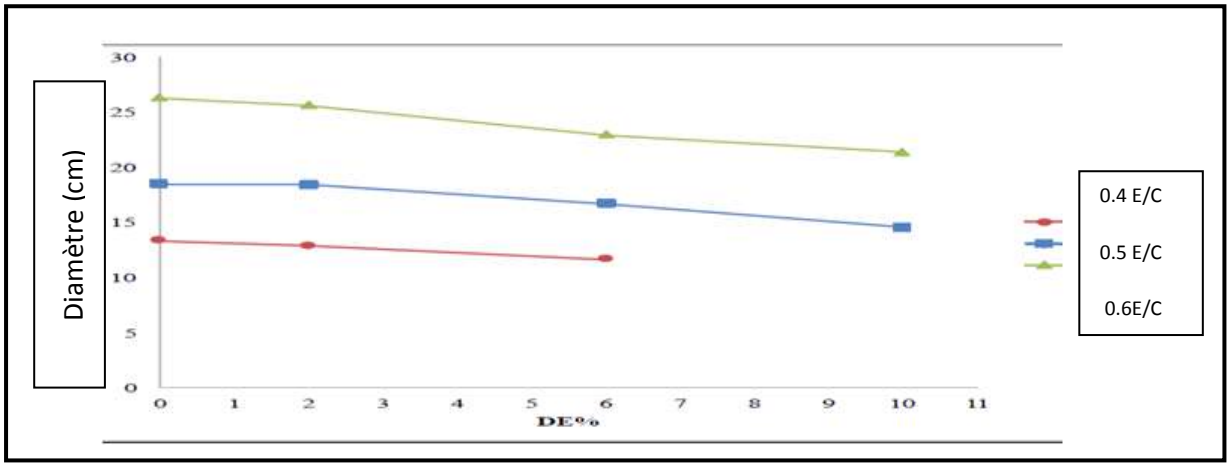


Figure I.6: Diamètre d'étalement des pâtes de ciment en fonction de dosage en diatomite **[4]**

Egalement, pour des rapports E/C de 0.4, 0.5 et 0.6 et un dosage croissant jusqu'à 10% de diatomite, Hasanzadeh **[7]** a constaté que l'augmentation du dosage en diatomite entraîne une augmentation de la viscosité (figure I.7).

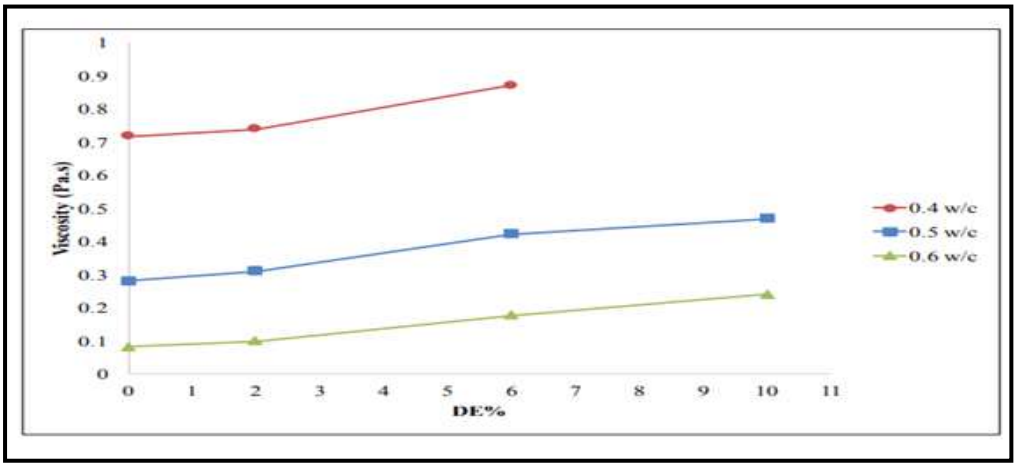


Figure I.7: Viscosité de la pâte de ciment par rapport aux niveaux de remplacement de la diatomite **[7]**

D'autre part, Lemons **[6]** a constaté que la structure poreuse des particules de la diatomite et de la surface Blaine élevée entraîne une forte demande en eau pour les mortiers de ciment. Néanmoins, cette eau sera rejetée dans la matrice de ciment à un âge avancé. Ce qui entraîne une réduction de la teneur en eau par suite.

Abrao **[2]** a trouvé que les mortiers de diatomite gâchés sans super plastifiant ont un aspect sec. Egalement, il a trouvé que les mortiers se désagrège à cause du manque de cohésion entre la matrice cimentaire et les agrégats (figure I.8).



Figure I.8: Evolution de l'affaissement en fonction du rapport eau/liant **[2]**

I.6.1.2 Temps de prise

Aydin **[9]** ont incorporé la diatomite en raison de 1%, 2% et 4% en remplacement du ciment. Leur étude expérimentale a montré qu'une faible proportion en diatomite assure un retard dans les temps de début et de fin de prise. Hasanzadeh **[7]** ont attribué ce retard de prise au manque d'eau (nécessaire à l'hydratation), suite à la structure poreuse et de leur surface Blaine élevée qui absorbent une partie de l'eau libre dans la pâte. Aussi, Il a expliqué ce retard de prise par la réduction de la teneur en particules de ciment. **[9]**

De même, Jiaqi **[24]** ont trouvé que l'augmentation du rapport Eau/Liant dilue le système d'hydratation et entraine un retard de prise.

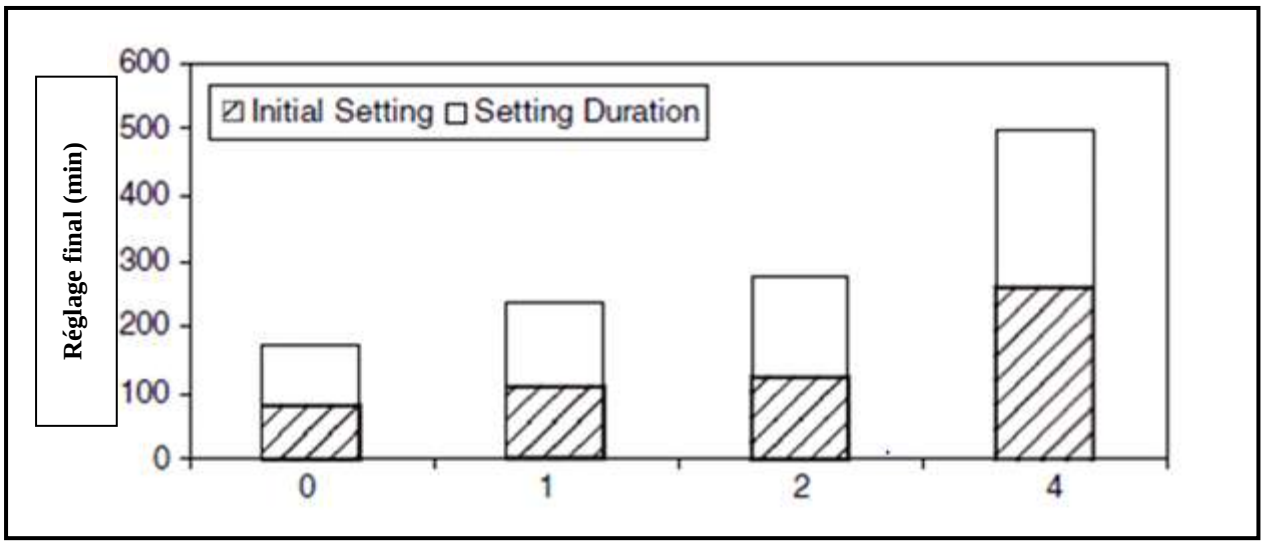


Figure I.9: La variation du réglage final en fonction du rapport des diatomites. **[24]**

Cependant, lorsque le dosage de diatomite est supérieur à 20%, Hasanzadeh **[7]** ont trouvé que l'augmentation du dosage en diatomite entraîne une réduction des temps de début et de fin de prise. Ils ont expliqué cette accélération de prise, par l'effet pouzzolanique de la diatomite.

Tableau (I.4) : Temps de début et fin de prise de pâtes de ciment avec différentes rapport E\C et dosage en diatomite**.[7]**

pâtes de ciment	ensemble initial (min)	Ensemble finale (min)
OPC_0.4	226	350
D2_0.4	178	310
D6_0.4	166	255
D10_0.4	141	240
OPC_0 .5	268	450
D2_0.5	246	390
D6_0.5	234	375
D10_0.5	229	360
OPC_0.6	340	570
D2_0.6	328	565
D6_0.6	300	555
D10_0.6	275	535

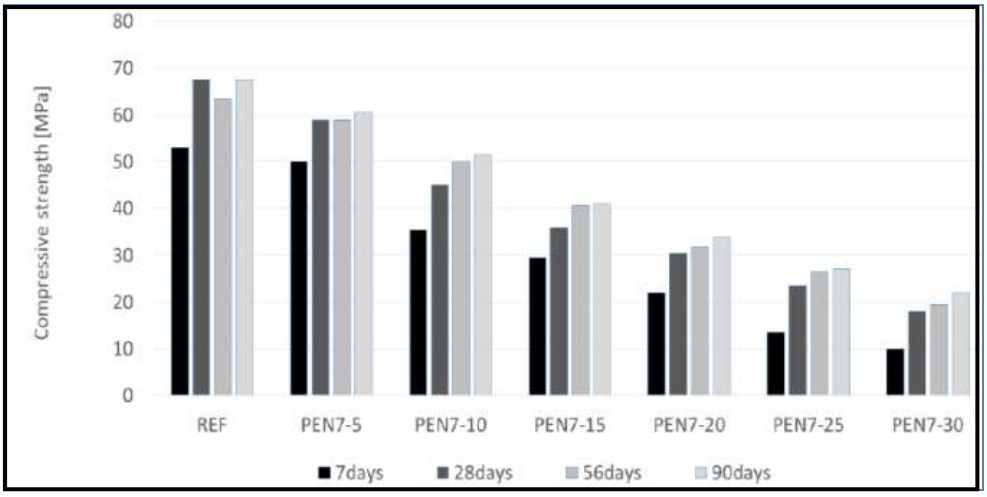
I.6.2 Propriétés de la pate à l'état Durci

I.6.2.1 Résistance a la compression

L'incorporation de la diatomite dans le béton a donné des résistances contradictoires à court et à long terme.

Les études d'Aydin et Gül **[9]** et Degirmenci et Yilmaz **[18]** ont montré que le remplacement partiel du ciment par de la diatomite a réduit les résistance à la compression comparativement à la formulation sans diatomite. D'autre côté et pour des dosages de diatomite de 5 à 30% du poids du ciment, Zahalkova **[25]** et Stanek **[22]** ont constaté une réduction de résistance de compression (figure I.10).

Aussi, pour des dosages de diatomite supérieur à 10% du poids du ciment, Kastis et al. **[15]** et Yilmaz et Ediz **[16]**ont constaté une baisse significative de la résistance à la compression.



Figure(I.10): Diminution de la Résistance à la compression des mortiers avec diatomite**.[9]**

Néanmoins, MILO a trouvé que l'incorporation de la diatomite a permet d'augmenter les résistances mécaniques par rapport au ciment portland. Des travaux expérimentaux d'Ergun **[12],** Fragoulis. **[13]** et Stamatakis**. [14]**ont montré que le remplacement du ciment par de la diatomite jusqu'à 10-15% augmente la résistance à la compression et à la flexion par rapport aux formulations témoins. Cela, il a été attribué à la forte teneur en silice et à la grande surface spécifique.

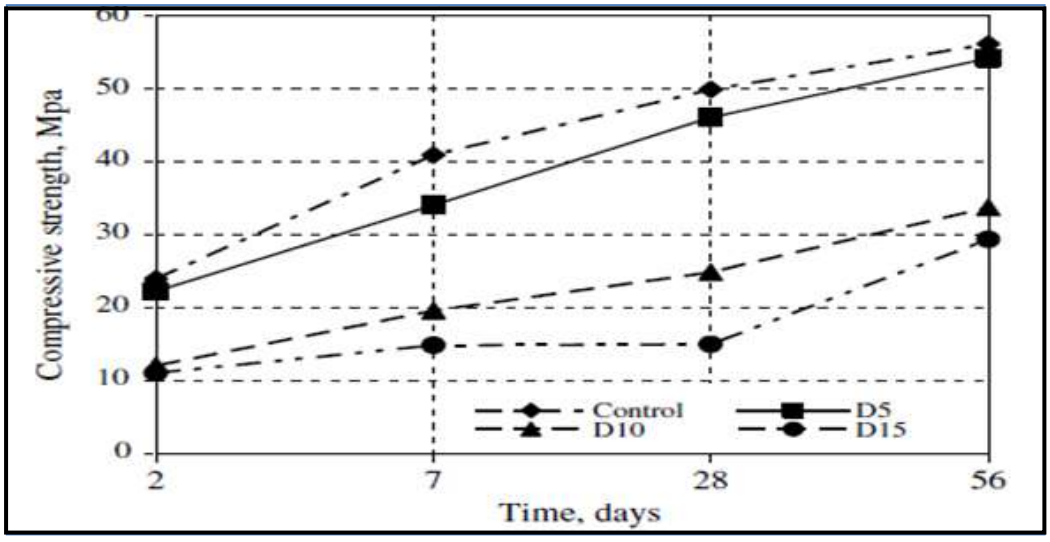


Figure (I.11) : Effet du dosage de la diatomite sur la résistance à la compression **[18]. [25]**

Pour un rapport E/C constant, Ahmadi **[10]** a réalisé une variation du dosage de diatomite de 0 à 40% du poids du ciment. Il a constaté une augmentation de la résistance en compression surtout à l'âge de 91 jours (figureI.12)

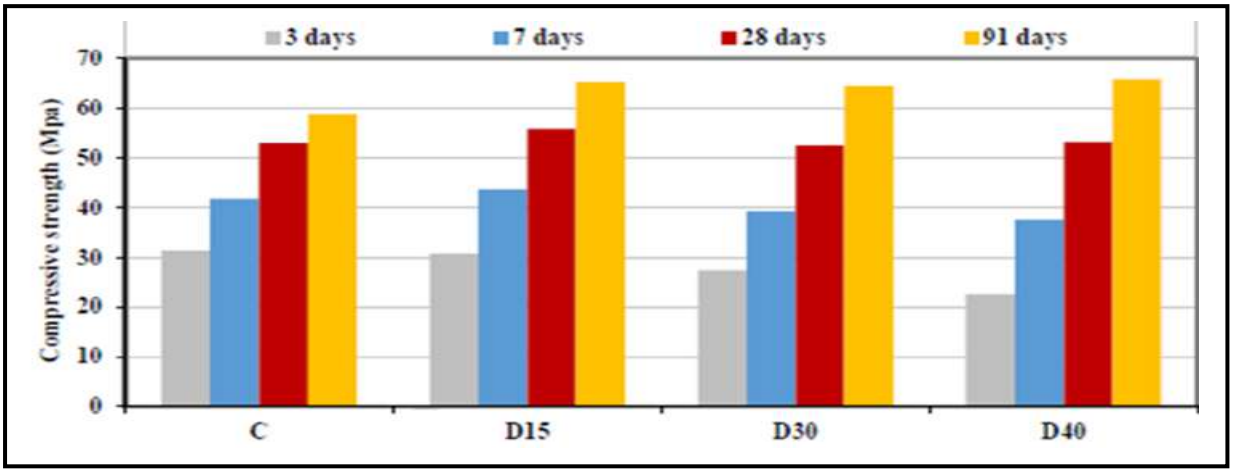


Figure I.12: Augmentation de la Résistance à la compression des mortiers avec diatomite **[19]**

Egalement, Tagnit **[20]** il a trouvé qu'un dosage optimum de 10% en diatomite donne les plus grandes valeurs de résistance en compression (figure I.12). Des résultats similaires ont été obtenu par Fragoulis pour un dosage de 15% de diatomite.

I.6.2.2 Influence du Superplastifiant

Vu la grande finesse de la diatomite qui absorbe beaucoup d'eau, Stamatakis, Fragoulis, Csirik, Bedelean et Pedersen ont r ommandé d'utiliser des superplastifiants. Pour améliorer la formulation des bétons.D'autre côté, Abrao **[2]** et Ahmadi **[10]** ont remarqué que l'utilisation du superplastifiant augmente considérablement la résistance en compression.

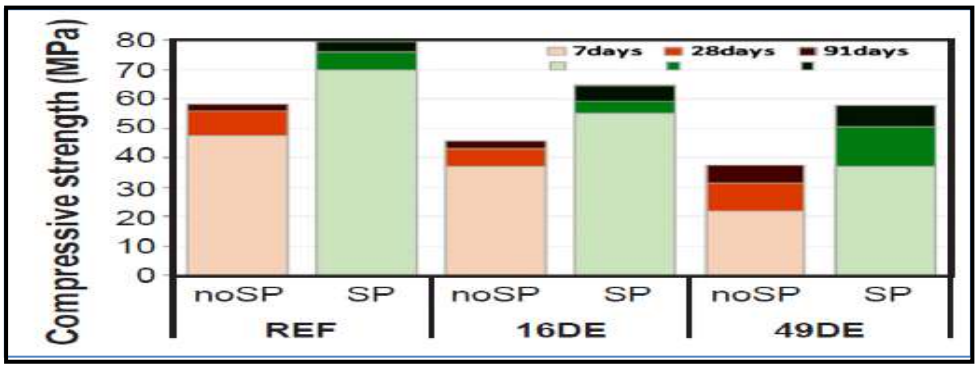


Figure (I.13): Effet du superplastifiant sur la résistance à la compression**. [2]**

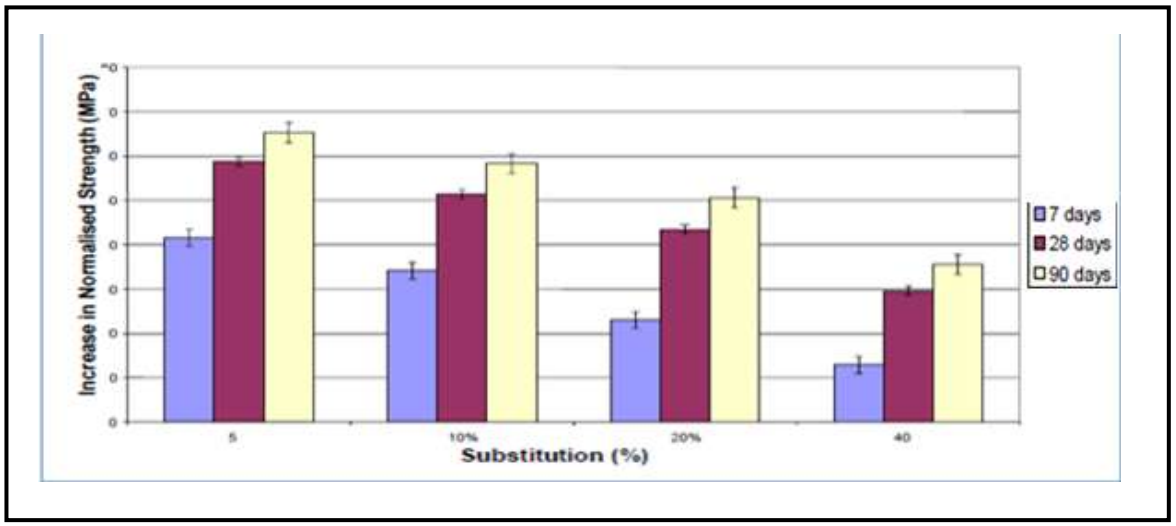


Figure (I.14): Résistance à la compression du mortier pour la diatomite waikaukau - tous les mélanges utilisant un ajustement à l'eau pour une ouvrabilité égale**.[10]**

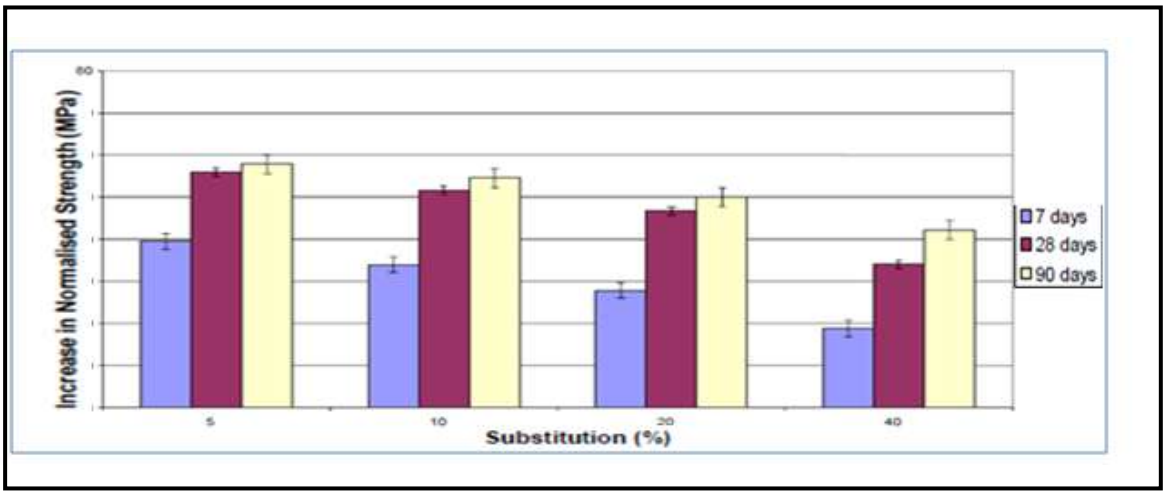


Figure (I.15): Résistance à la compression du mortier pour la diatomite Ngakuru - tous les mélanges utilisant l'ajustement de l'eau pour une ouvrabilité égale**.[10]**

I.6.2.3 Effet de la finesse de la diatomite

Warren **[26]** a trouvé les fortes résistances à la compression sont dues principalement à la grande surface spécifique de la diatomite sont fines. Egalement, il a constaté que la forte teneur en oxyde de silicium SiO2 de la diatomite (SiO2 supérieur à 80%), favorise sa réaction pouzzolanique. Des résultats semblables ont été confirmé par pokorny **[27]** qui a comparé la résistance à la compression des mortiers fabriqué avec de diatomite avec surface spécifique de 1435 et 515 m2/kg,

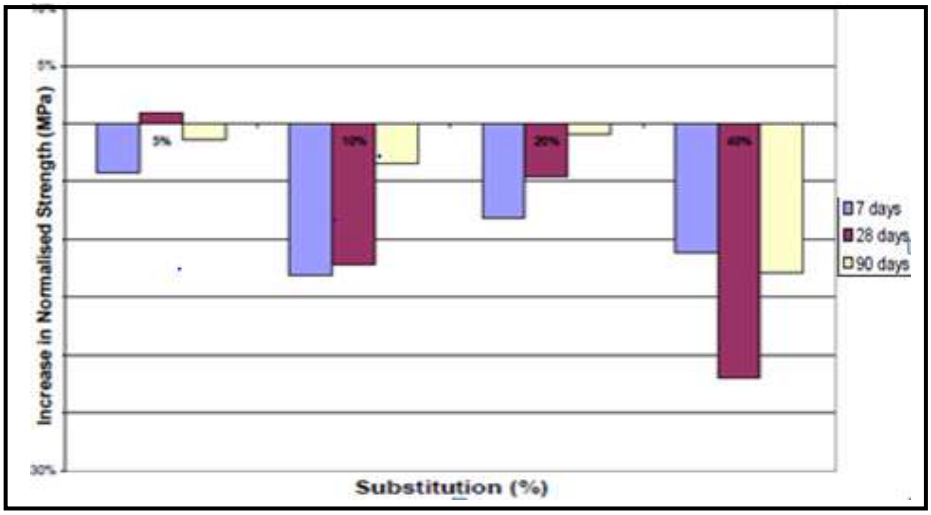


Figure (I.16): variation de la résistance à la compression du mortier normalisé pour le diatomite waikaukau broyé à une finesse de 300 m² / kg par rapport à celle de 500 m²/kg**.[26]**

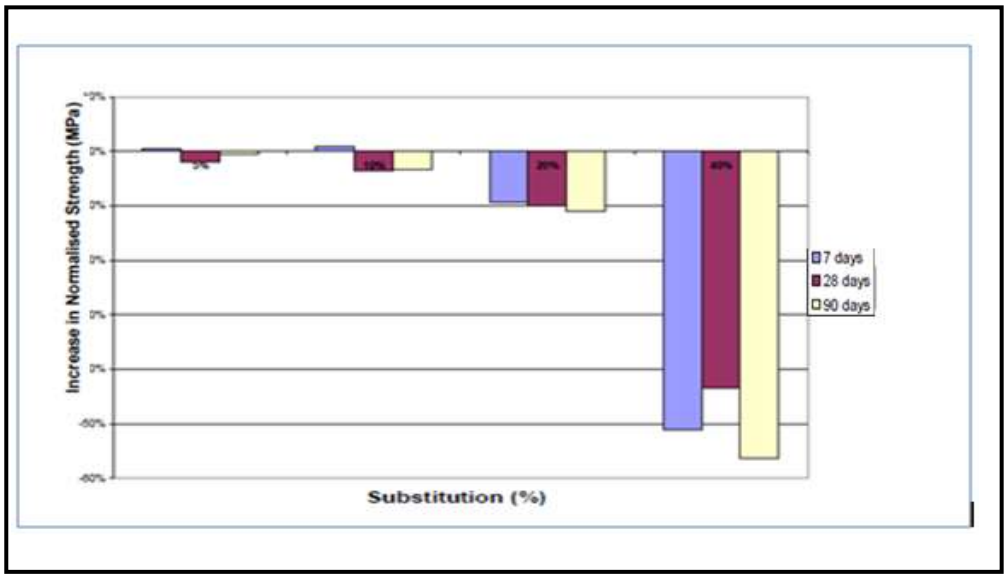


Figure (I.17): variation de la résistance à la compression du mortier normalisé pour la diatomite Ngakuru broyée à une finesse de 300 m² / kg par rapport à celle de 500m²/kg**.[26]**

I.6.2.4 Résistance à la Traction

Les résistances en flexion donnent des valeurs contradictoires. Degirmen **[18]** a trouvé que la résistance en flexion augmente avec le dosage croissant de la diatomite. Egalement, Ahmadi **[10]** a constaté qu'un dosage croissant de 0-40% conduit à une augmentation de la résistance en flexion.

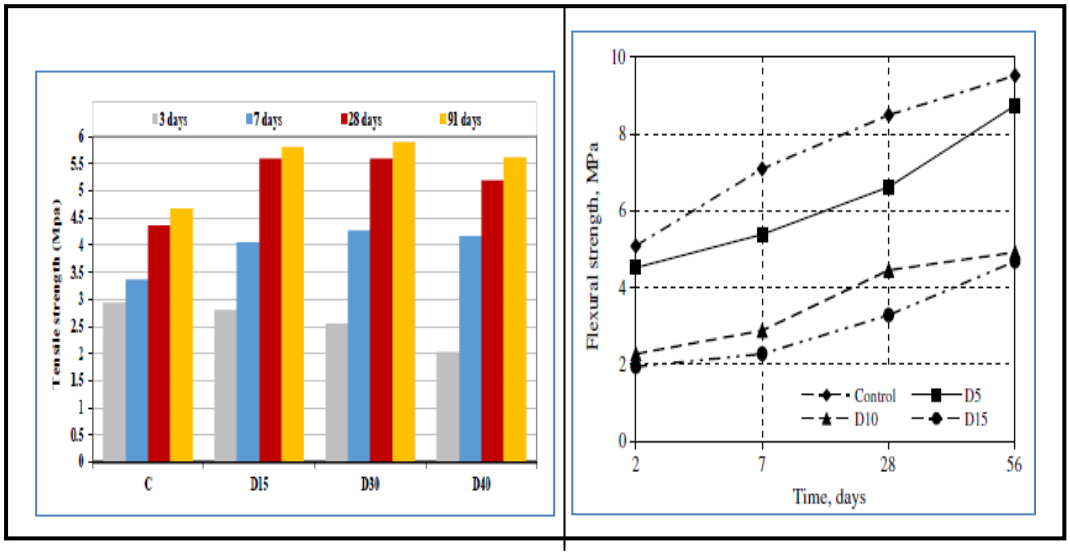


Figure (I.18): Augmentation de résistance à la traction en fonction du dosage en Degirmen **[10].[18]**

Cependant, Zahalkova **[25]** et Degirmen **[18]** ont constaté que la croissance du dosage de la diatomite entraîne la réduction de la résistance à la flexion des mortiers.

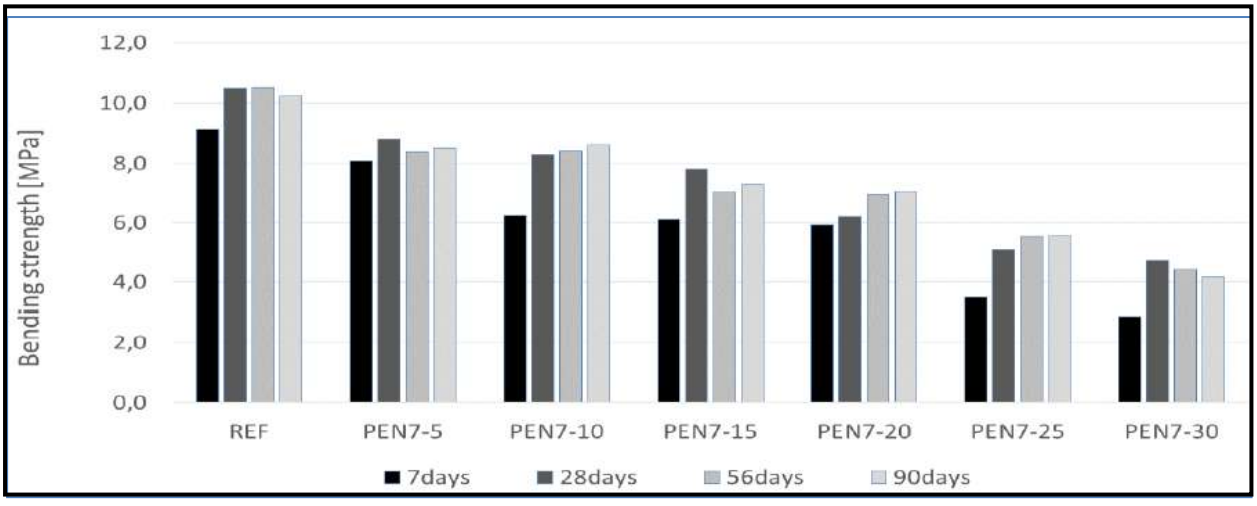


Figure (I.19): Diminution de résistance à la traction en fonction du dosage en diatomite zahalkova **[25]**

I.7 Durabilité des mortiers

La durabilité est une propriété importante du béton, qui détermine la durée de vie des structures.

Le tableau (I.5) présente quelques produits chimiques qui peuvent attaquer le béton.

Tableau II.5 : Produits chimiques et leurs effets

Type de milieu agressif	**Produit**	**Ph**	**Milieu de présence (industrie chimique)**	**Effet : corrosion ou dissolution**
Basique	NaOH Hydroxyde de sodium	12.10	-Fabrication de papier. Etude des conditions de dégradation d'un substance Pharmaceutique	métaux Exothermique
Acide (Fort/ Faible)	HCl Acide chlorhydrique	2.10	-Fabrication des engrais ou au décapage des métaux	Acier Béton
	NaCl Chlorure de sodium	5.25	Industrie verrière et de porcelaine en métallurgie comme en savonnerie	Intermétallique
	H_2SO_4 Acide sulfurique	2.10	-Fabrication d'acide phosphorique par attaque du phosphate de calcium	Acier Béton
	CH3COOH Acide Acétique	2.4	-la production d'anhydride acétique/ -l'alimentation(production de vinaigres de fruit) -Comme agent de nettoyage -comme additif alimentaire	Métaux (fer zinc)
Sulfate ASTM	MgSo4 Sulfate de magnesium	5-8	-Cosmétique -Traitement du problème de la peau	Béton armé
	Caso4 Sulfate de calcium	6 – 8	-la peinture/ les engrais -l'industrie des liants minéraux at matériaux de construction - médecine et chirurgie reconstructrice/ la pharmacie .-	

I.7.1 Durabilité des mortiers dans Les milieux agressifs

A. Milieux acides

- **Acides forts (Effet de HCL , HNO_3 et H_2SO_4)**

L'action du HCl, HNO_3 et du H_2SO_4 sur les produits d'hydratation du ciment, en particulier le $Ca(OH)_2$ est présentée dans les équations chimiques suivantes:

$$2HCl+Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + 2H_2O \quad (1)$$

$$2HNO_3 +Ca(OH)_2 \rightarrow Ca\ (NO_3)\ 2 + 2H_2O \quad (2)$$

$$2H_2SO4+ Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H2O \quad (3)$$

D'après les équations (1), (2) et(3), une formation de sels de $CaCl_2$, Ca $(NO_3)_2$ et du $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ résultent de la consommation de $Ca(OH)_2$. En présence d'eau, ces sels se dissolvent et entraînent une augmentation de la porosité de la pâte de ciment.

Dans le cas d'une attaque H_2SO_4, Le $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ réagit alors avec le C_3A et produit une nouvelle ettringite (équation 4).

$$3CaSO_4 + 3CaO \cdot Al_2O3 \cdot 6H_2O + 25H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4.31H_2O \quad (4)$$

- **Acides faibles (Effet de CH_3COOH et NaCL)**

L'attaque de CH_3COOH et du NaCL entraîne la dissolution de l'hydroxyde de calcium ($CaOH_2$) pour produire Ca $(CH_3COO)_2$ et du $CaCl_2$.

$$2\ CH_3COOH + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca\ (CH_3COO)_2 + 2H_2O \quad (5)$$

$$2NaCl+Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2+2NaOH \quad (6)$$

Aussi, le $CaCl_2$ peut potentiellement réagir avec l'aluminate tricalcique(C_3A) en produisant du chloroaluminate de calcium.

$$CaCl_2+C_3A \rightarrow C_3A \cdot CaCl_2.H2O \quad (7)$$

B. Milieu sulfatique

- **Sulfate de calcium (CaSO4)**

Les Sulfate de calcium réagissent avec l'aluminate de calcium hydraté et l'eau pour former Ettringite. Les sulfates solubles dans l'eau peuvent également endommager la structure du béton sous forme de cristaux de gypse [$CaSO_4$•$2H_2O$] qui occasionnent le gonflement.

$$3\ CaSO_4 + 3CaO{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6H_2O + 26H_2O \rightarrow Al_2O_3{\cdot}3CaSO_4{\cdot}32H_2O \quad (8)$$

C. Milieux basique

- **Effet de NaOH ou Soude Caustique**

Dérive du carbonate de sodium ; anciennement appelée soude caustique. Dans l'Egypte ancienne, le sodium le carbonate était déjà mélangé à de la chaux pour synthétiser un alcali : l'ion hydroxyde OH- en solution avec l'ion Na+. A travers les âges, plusieurs procédés ont été développés pour le synthétiser, comme le procédé Solvay en 1861. Aujourd'hui, l'hydroxyde de sodium est principalement produit par l'électrolyse d'une solution de chlorure de sodium

Dans cette étude, nous avons utilisé de l'hydroxyde de sodium en granulats, la soude est préparée en la broyant.

La solution agressive utilisée est une solution basique (soude caustique) très forte d'hydroxyde de sodium produit par la société Allemande SIGMA-ALDRICH. L'hydroxyde de sodium a une masse molaire de 39.99g/mole avec un degré de pureté de 57.48%.

Les éprouvettes de forme cubique ($3*3*3cm^3$) sont immergées dans une solution de sodium 5% hydroxyde de sodium (NaOH).

I.7.2 Hydratation système ciment diatomite

I.7.2.1 Hydratation ciment

L'hydratation du ciment anhydre se produit lorsque les quatre principales phases anhydres rentrent en contact avec l'eau. Les composants, comme C3S et C2S libèrent la Portlandite et forment des CSH.

Les composants, comme C_3S et C_2S libèrent la Portlandite et forment des CSH.

$C_3S + 3\ H_2O$:::::::::::::::::::::::::::::: CSH + $2\ Ca(OH)_2$	Equation 1.1
$C_2S + 2\ H_2O$:::::::::::::::::::::::::::::: CSH + $Ca(OH)_2$	Equation 1.2

Le composant de l'aluminate tricalcique et le gypse se dissolvent rapidement. Les ions ainsi produits se combinent pour donner instantanément des cristaux d'ettringite lorsque la solution devient sursaturée.

$C_3A + 10\ H_2O + CaSO_4\ 2\ H_2O$ :::::::::::: $C_3A.\ 3CaSO_4\ .\ 32H_2O$ (ettringite: AFT)	Eq.1.3

Au bout de plusieurs heures, la consommation totale du gypse fait chuter la concentration des ions sulfate. Ainsi, la solution interstitielle du béton devient sous-saturée par rapport à l'ettringite. Celle-ci se dissout alors et devient la nouvelle source d'ions sulfate, qui forment avec l'aluminate excédentaire un nouveau composé, le monosulfoaluminate de calcium hydraté :

$C_3A.3CaSO_4.\ 32H_2O + 4Al(OH^-)_4 + 6\ Ca^{2+} + 8OH^-$ ::::::: $C_3A.CaSO_4.12H_2O + 8H_2O$ (AFM)	Eq.1.4

Pour la ferrite C_4AF qui participent à des réactions plus complexes notamment liées à la formation d'ettringite primaire puis du monosulfo-aluminate de calcium hydraté.

Dans le cas de l'aluminoferrite- tétracalcique C4AF, la cinétique d'hydratation est similaire à celle de C3A, mais les réactions sont plus lentes. Premièrement une phase de Tri sulfo AFt C6(A,F)$\overline{S}$3H32 se produise et ensuite elle se transforme en phase AFm C4(A,F)$\overline{S}$H12.

$C_4AF + H_2O$:::::::::::::::::::::::::::::: $C_4AF.3CaSO_4.32H_2O$	Eq. 1.5
$C_4AF.3CaSO_4.32H_2O$ se transforme en:::::::::::: $C_4AF.CaSO_4.12H_2O$	Eq. 1.6

I.7.2.2 Réaction pouzzolaniques

L'ajout de la diatomite peut modifier la microstructure de pâte de ciment durcie. En effet, des réactions pouzzolanique se produisent entre la silice présente en forte quantité dans la diatomite et la portlandite. Cette réaction pouzzolanique entraîne une microstructure plus dense, compacte et résistante.

$SiO_2 + Ca(OH)_2 + H_2O$ :::::::::::::::::::::::::::::: CSH	Eq 1.5

II.1.Introduction

Ce mémoire de fin d'étude a pour objectif de valoriser l'utilisation de la diatomite dans la fabrication des mortiers. Il s'agit d'effectuer des essais physico-chimiques et mécaniques qui permettent d'évaluer l'efficacité de ce matériau.

En première partie, on présente les caractéristiques des matériaux utilisés pour étudier le comportement des mortiers en diatomite, dans divers milieux agressifs. Tandis que, la deuxième partie, on présente les différentes formulations confectionnées ainsi que les méthodes et essais utilisés pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques, Aussi des différents essais sur la durabilité [la résistance aux acides, Acide Chlorhydrique « HCl » Chlorure de sodium « NaCL », Hydroxyde de sodium « NaOH »].

II.2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette étude sont tous de matériaux locaux. Pour nos différents essais, on utilisé du ciment, sable, super plastifiant, et comme un ajout on a la diatomite ; et différents acides "Acide Chlorhydrique « HCl » Chlorure de sodium « NaCL », Hydroxyde de sodium « NaOH », le gypse qui est un Sulfate de calcium «CaSO4» ".

L'ensemble de ces matériaux est illustrée dans la figure(II.1).

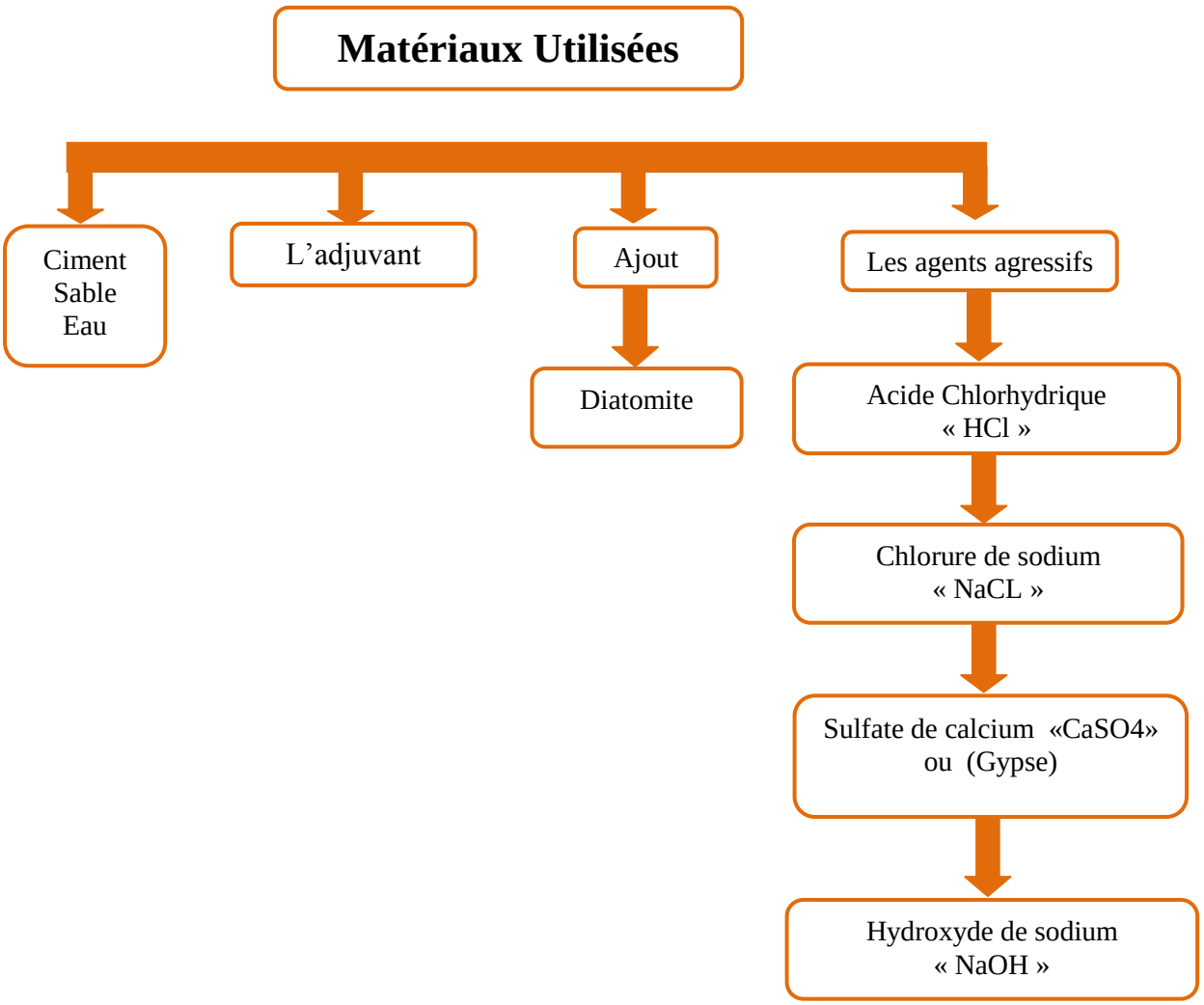


Figure II.1 : Schéma présente les matériaux utilisés à l'étude

II.2.1 Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est le ciment portland composé CPJ- CEMII/B 42,5 N, il provient de la cimenterie de Lafarge de Msila de nom commercial MATINE.

Les compositions chimiques et minéralogiques ainsi les caractéristiques physico-mécaniques sont présentées dans le tableau (II.1) suivant:

Composition chimique (%)									
CaO	**SiO2**	**Al2O3**	**Fe2O3**	**MgO**	**SO3**	**Na2O**	**K2O**	**P.Feu**	**R. Insoluble**
55.70	28.57	4.28	3.81	1.11	2.43	0.12	0.44	10	0.7

Composition minéralogique (%)			
C_3S	**C_2S**	**C_3A**	**C_4AF**
57 - 63	12 – 18	6.5 - 8.5	10-12

Propriétés physiques					
	Masse volumique absolue (kg /m³)	SSB (cm²/g)	Expansion (mm)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
	2924	4833	0,2	120-180	180-280

Tableau II.1 : Compositions chimique et minéralogique et les caractéristiques Physico-mécaniques du ciment CEM II 42.5 R



Figure II.2 : Echantillon de ciment

II.2.2 Sable

Le sable utilisé est un sable roulé de classe granulaire de 0/2. Il provient de la carrière de Hassi Bahbah (W. Djelfa). La granulométrie et les caractéristiques physiques du sable sont données respectivement dans la figure (II.3) et le tableau (II.2).

Caractéristiques	Sable	Normes
Masse volumique absolue	2.65	NF P18-554
Masse volumique apparente	1.6	ISO 67834982 (F)
Compacité	0.60	
Porosité	0 .4	NF EN 1097-4
Coefficient d'absorptions d'eau	0.01	NF P18-555
Module de finesse	1.55	NF P 18-560
Equivalent de sable	74.90%	NF P 18-598

Tableau II.2 : Caractéristique physique du sable

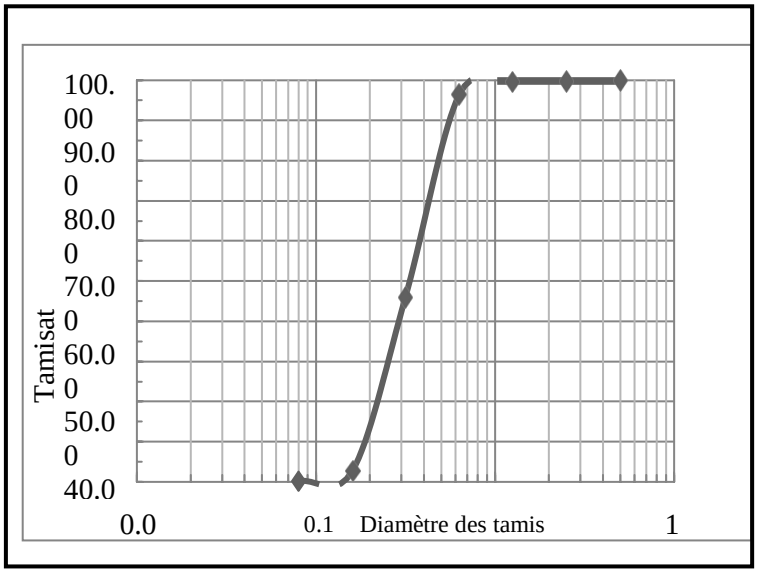


Figure II.3: Distribution granulaire du sable (0/2)



Figure II.4 : Echantillon de sable

II.2.3. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est le Sikaplast BV40+. C'est un plastifiant réducteur d'eau pour haute résistance mécanique, à base de polycarboxylates modifiés.

Les caractéristiques physico-chimiques du Sikaplast BV40+ sont présentées dans le tableau (II.3).

Tableau II.3: Caractéristiques du super plastifiant Sikaplast BV40+

Forme	Couleur	Dosage usuel	Densité	PH
liquide	Marron	0.3% à 1%du poids du liant selon les performances recherchées.	1.04±0.015	4.7±1



Figure II.5 : Super plastifiant Sikaplast BV40+

II.2.4. Eau de gâchage

L'utilisation de deux types d'eaux de gâchage :

- Eau potable pour l formulation des mortiers et pates de ciment.
- l'Eau distillé pour les solutions acides.



Figure II.6: Eau distillé



Figure II.7: Eau potable

II.2.5. Diatomite

La diatomite est obtenue par la carrière de Sig de Mascara. C'est une roche sédimentaire siliceuse, poreuse et friable de couleur blanche à grise, massive ou litée.

Elle est d'origine organique et fossile composée de silice hydratée amorphe, qui résulte du dépôt des coquilles fossilisées microscopiques d'anciennes algues unicellulaires, appelées diatomées. Elle s'écrit selon la formule Sio2 nH2o. La figure (II.8) donne un aperçu sur la nature de diatomite



Figure II.8 : Echantillon poudre de diatomite

Nous avons analysé la granularité de la diatomite dans une série des tamis d'un diamètre de 2 mm à 45 µm qui est présentée sur la figure II.9.

L'analyse montre que 60% des particules ont un diamètre inférieur à 10 µm. Cette diatomite ne contient pas d'éléments grossiers car elle a un diamètre dans l'ensemble inférieur à 70 µm.

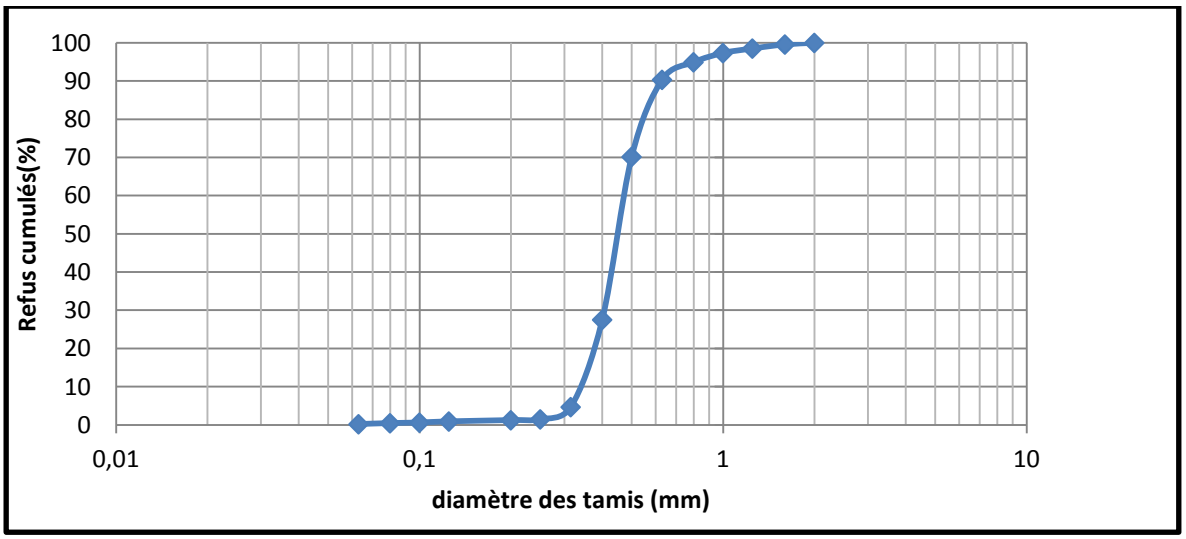


Figure II.9 : Courbe de l'analyse granulométrique de la diatomite

La diatomite utilisée est constituée majoritairement de la silice (76,18%) et de calcaire (12,90%) avec petites quantités d'oxydes.

Tableau II.4: La composition chimique et les caractéristiques physiques et compositions chimiques de cette diatomite.

	Composition chimique									
Composants	SIO_2	CaO	AL_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	TiO_2	PAF
Pourcentage (%)	76.18	12.90	4.32	2.43	1.21	0.97	0.54	0.64	0.17	8.7

Caractéristiques physicochimiques						
Couleur	Masse Volumique (g /cm)	Surface spécifique (cm^2/g)	Granulométrie refus		PH	Teneur en eau
			(ϕ125)	(ϕ75)		
Blanche	1.40-1.60	5596	9%	3%	8.7	22%



Figure II.10: Présente les différents essais réalisés pour déterminer les caractéristiques physiques et chimiques pour la diatomite

II.3Préparation des Formulations et essai de caractérisation

Afin d'étudier l'efficacité de l'introduction de la diatomite dans la fabrication des mortiers, on a utilisé trois types de formulations:

- Une première formulation de pâte de ciment pour étudier le comportement a l'état frais.
- Une deuxième formulation de mortier pour étudier le comportement mécanique.
- Tandis que la troisième s'intéresse à l'effet des milieux en agents agressif sur la durabilité des mortiers.

Les formulations des mortiers et pâtes de ciment ont été confectionnées par un remplacement partiel du ciment par des pourcentages de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, et 50% de diatomite brute.

L'ouvrabilité a été gardé constante par la considération d'un temps LCL au maniabilimètre de l'ordre de 12s et un affaissement de 2 cm au mini cône. Pour cela, deux paramètres ont été adoptés. Le premier varie le rapport Eau/Liant, par un ajout progressif d'eau de gâchage. Tandis que le second, fixe le rapport Eau/Liant à 0.35 par l'utilisation d'un adjuvant « super plastifiant » haut réducteur d'eau.

La figure(II.11) + les tableaux [(II.5), (II.6), (II.7)] ci-dessous résume la formulation et les variables étudiées.

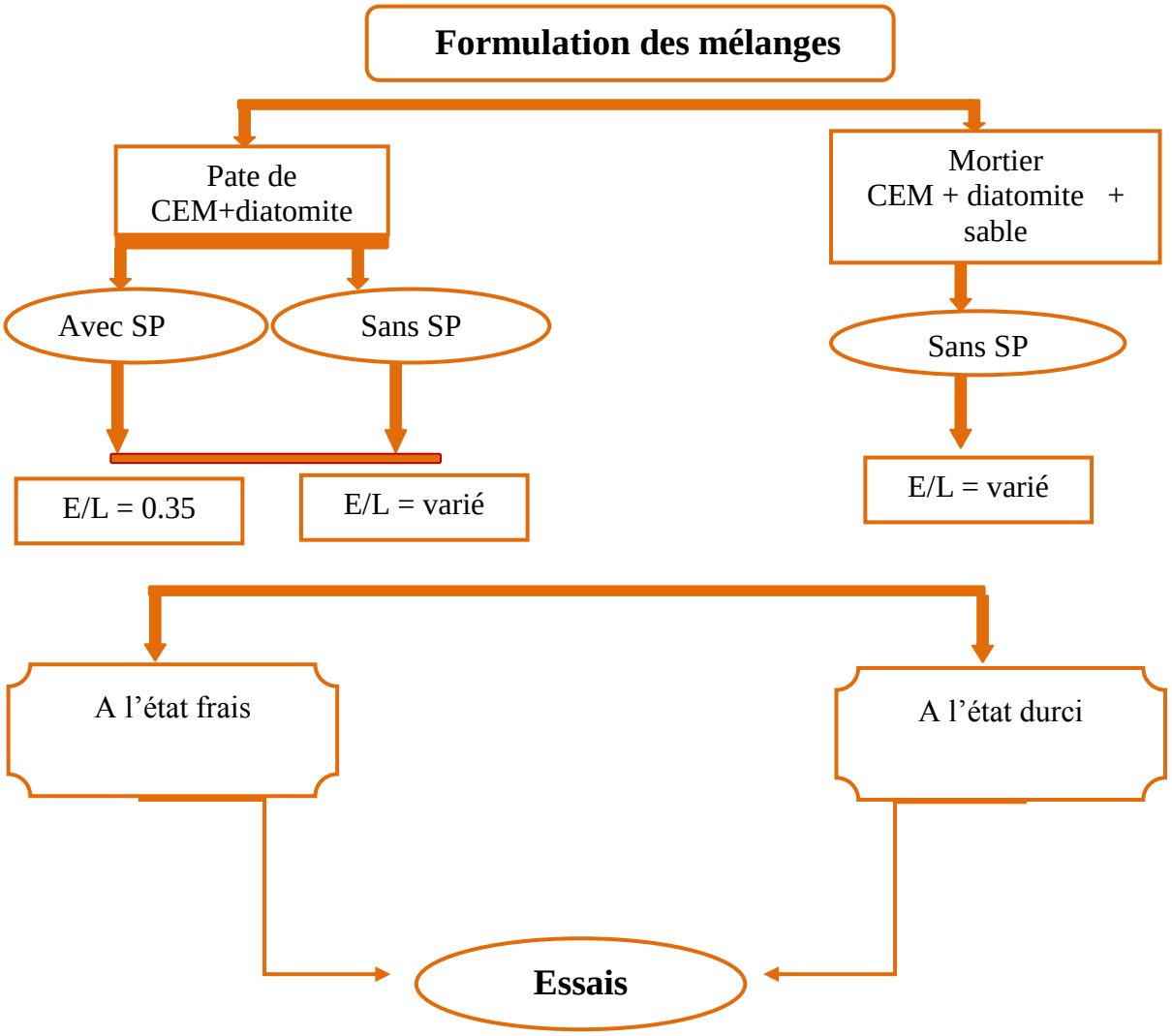


Figure II.11 : Formulation et variables étudiées

Tableau II.5 : Composition des mélanges de mortier de (ciment + diatomite+ sable)

	Témoin	Sans SP						
Remplacement(%)	0	5	10	15	20	25	30	50
Diatomite(g)	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	225
Ciment(g)	450	427.5	405	382.5	360	337.5	315	225
Sable(g)	1450							
Eau / Liant	0.5	0.87	0.91	1.01	1.05	1.09	1.14	1.20

Tableau II.6: Composition des mélanges de pâte de Sans SP

	Témoin	Sans SP						
Remplacement(%)	0	5	10	15	20	25	30	50
Diatomite(g)	0	15	30	45	60	75	90	150
Ciment(g)	300	285	270	255	240	225	210	150
Eau / Liant	0.45	0.57	0.61	0.71	0.75	0.79	0.84	0.9

Tableau II.7 : Composition des mélanges de pâte avec SP

	Témoin	Avec SP						
Remplacement(%)	0	5	10	15	20	25	30	50
Diatomite(g)	0	15	30	45	60	75	90	150
Ciment(g)	300	285	270	255	240	225	210	150
Eau / Liant	0.35							
Dosage en super plasctifiant	0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2

II.3.1. Préparation et séquence de malaxage des pâtes de ciment

Le protocole de malaxage choisi a été adopté après quelques essais préliminaires, dont l'objectif d'éviter l'absorption d'eau et la floculation des particules de diatomite et de trouver une ouvrabilité caractérisée par un affaissement de 2 cm dans le mini cône et un temps d'écoulement LCL de 12s.

Lors de la formulation des pâtes sans plastifiant et vu la grande finesse de la diatomite, le ciment et la diatomite ont été mélangés à sec à des temps de 15s, 30s et 1min. Une fois le mélange est homogénéisé, l'eau est ajoutée progressivement jusqu'à l'obtention d'une consistance pâteuse.

Pour le cas d'un malaxage avec un rapport Eau/Liant égal à 0.35, le ciment et la diatomite ont été mélangés à sec à des temps de 15s, 30s et 1min. Par la suite, les deux tiers de l'eau de gâchage sont ajoutés et le malaxage s'effectue pendant 90s. Après un arrêt de 30 secs, le reste de l'eau, avec les deux tiers de la dose de super plastifiant, est introduit progressivement en malaxant pendant 90 secs. Finalement, le reste du super plastifiant est introduit et l'ensemble du mélange est malaxé pendant 90s.

Tableau II.8: Etape malaxage des pâtes de (ciment + diatomite)

A-Sans Superplasctifiont		
Etape	Matériaux introduits	Durée de malaxage
1	Malaxage préliminaire Diatomite + Ciment	15s + 30s + 1min
2	arrêt de quelques secondes	15 s
3	Introduction de 2/3 l'eau	90 s
4	arrêt de quelques secondes	30 s
5	Introduction de 1/3 l'eau	90 s

B-Avec superplasctifaint		
Etape	Matériaux introduits	Durée de malaxage
1	Malaxage préliminaire Diatomite + ciment	15s + 30s + 1min
2	arrêt de quelques secondes	15s
3	Introduction de 2/3 l'eau	90 s
4	arrêt de quelques secondes	30 s
5	1/3 Eau+ 2/3superplastiant	2 minutes
6	arrêt de quelques secondes	30 s
7	Introduction de 2/3 l'eau	90s
8	2/3 super plastifiant	60s

NB : Pour Le mélange des pâtes témoins, l'eau a été progressivement ajoutée au ciment au cours de la première minute de mélange, puis le mélange s'est poursuivi pendant deux minutes supplémentaires à une faible vitesse. L'échantillon a ensuite été laissé au repos pendant deux minutes, ce qui a été suivi par trois autres minutes de mélange à une vitesse rapide.

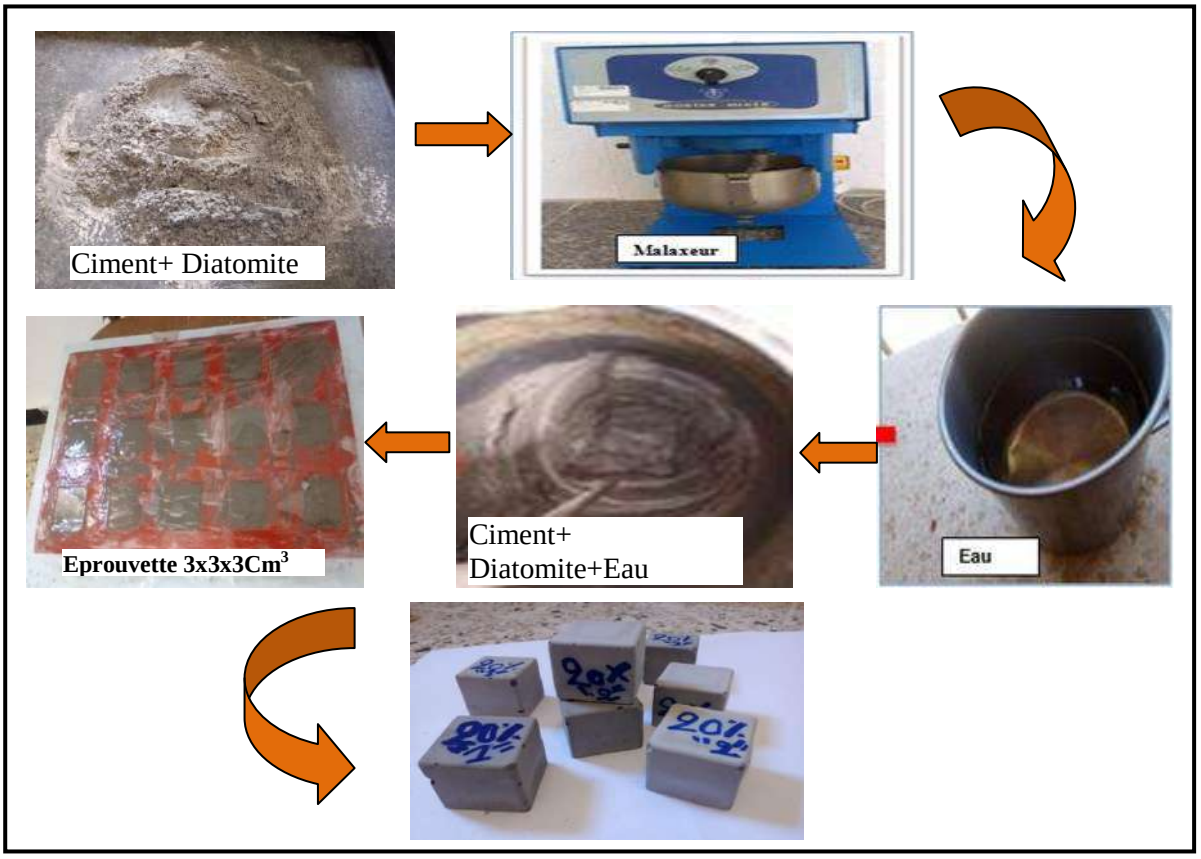


Figure II.12 : Procédure de malaxage des pâtes de ciment sans super plastifiant

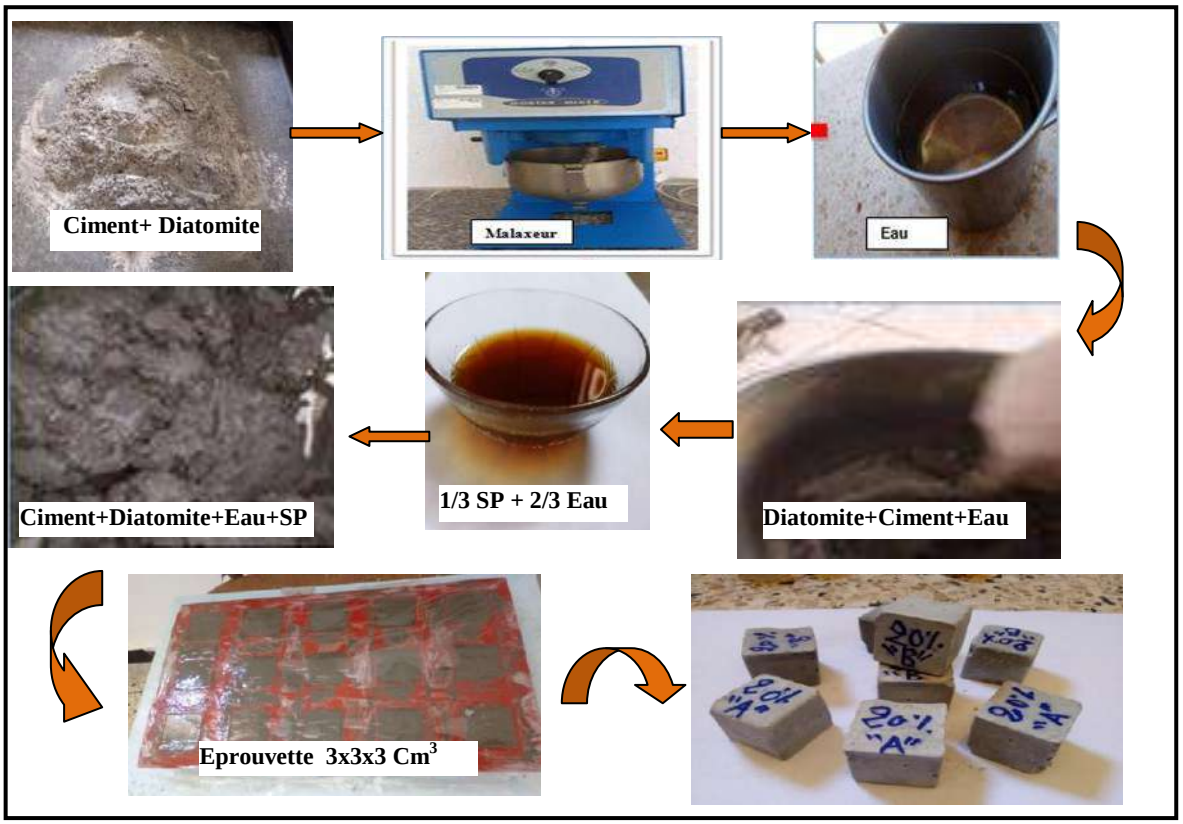


Figure II.13 : Procédure de malaxage des pâtes de ciment avec super plastifiant

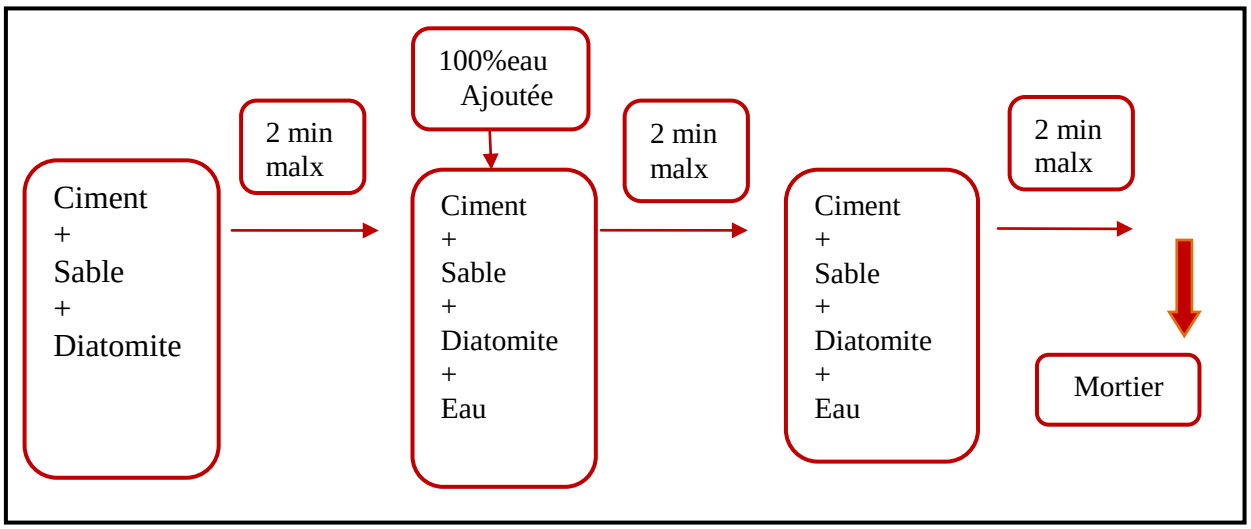


Figure II.14 : Préparation et séquence de malaxage des mortiers

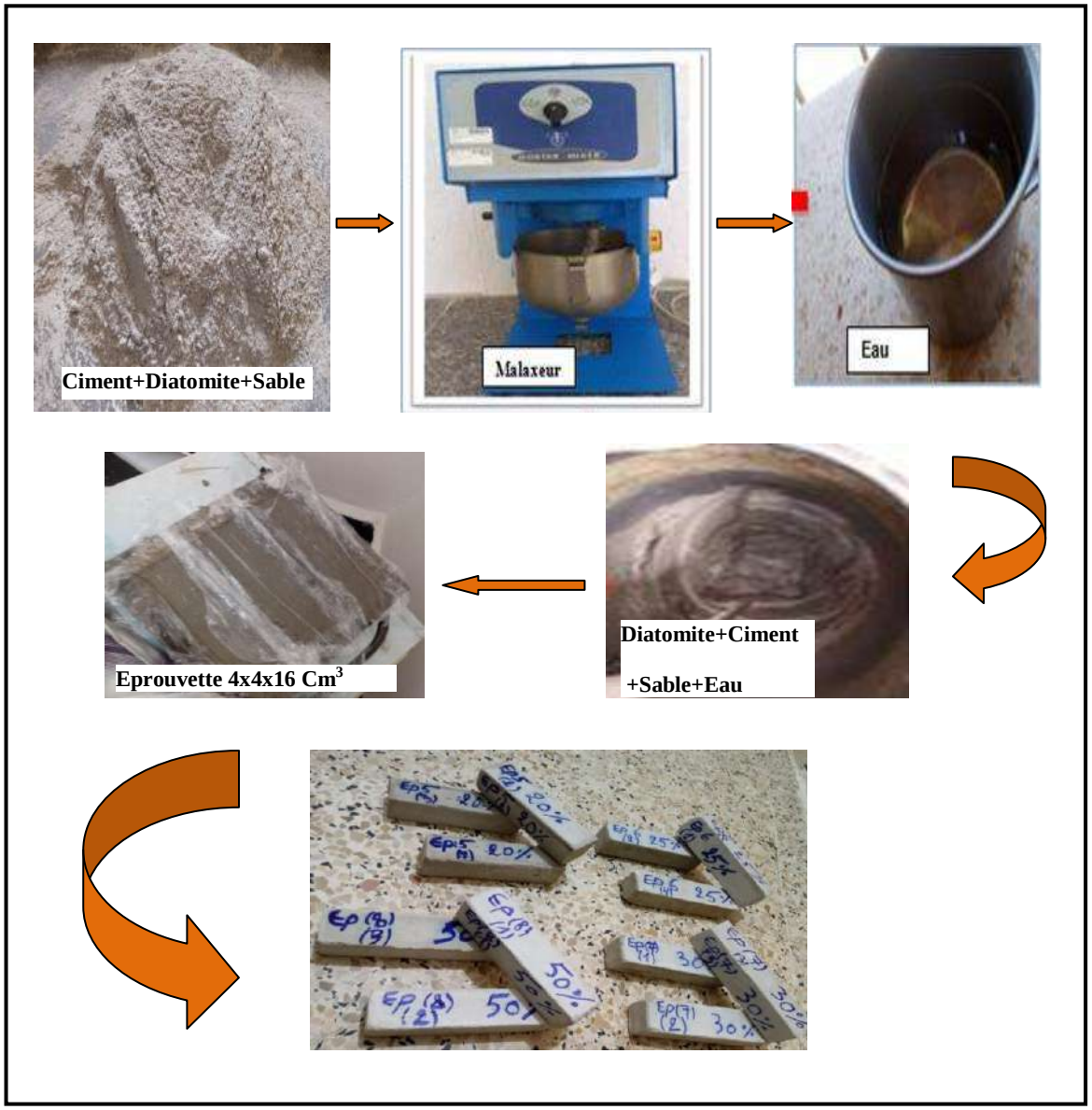


Figure II.15: procédure de malaxage des mortiers

II.3.2 Etape de remplissage des moules

- On remplit les moules prismatiques 40x40x160mm et les moules cubiques 30x30x30mm selon trois couches, on pique chaque couches cinq fois avec des espaces différent .
- Dans chaque couche mortier coulée soumit à une vibration. pour assurer la stabilité à l'état frais du mortier, afin d'éliminer les risques de sa ségrégation.
- Après la dernière couche, on arase la surface supérieure des éprouvettes avec une réglette

NB : Les essais réalisés sur mortier visent à déterminer les propriétés mécaniques et de durabilités des mortiers avec diatomite. Le mortier confectionné est introduit dans des moules 40x40x160mm et 30x30x30mm, après 24heures les éprouvettes sont démoulées et conservées à l'air libre.

II.4. Essai de caractérisation des pâtes et mortiers

Les formulations réalisées doivent être caractérisés à l'état frais et durci, Les différents essais faits au cours de ce travail sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.9 : Essais réalisées sur Mortiers et pâtes de ciment.

	Mortier / Pate
Etats frais	Affaissement au mini cône Maniabilité LCL Masse volumique Le temps de prise
Etat durci	Flexion Compression Conductivité thermique Essai de durabilité

II.4.1. Essai de caractérisation à l'état frais :

Les mesures des propriétés à l'état frais ont pour objectif de vérifier et de suivre l'ouvrabilité des formulations. Dans cette études, on s'est fixé comme objectif de réaliser des bétons plastique avec et sans super plastifiant. Pour cela, une ouvrabilité à 2 cm.

II.4.1.1Affaissement au mini cône (MBE) :

Afin d'assurer une consistance plastique. L'essai d'affaissement est effectué à l'aide d'un mini-cône dont les dimensions sont proportionnelles à ceux du cône d'Abrams, (figure II.16). Le Mini cône à une hauteur de 60 mm et de diamètre de base inférieure et supérieure respectivement de 20 mm et 40mm. L'essai est réalisé en remplissant le Mini-cône en deux couches. On soulève le cône verticalement et on mesure l'affaissement à temps.

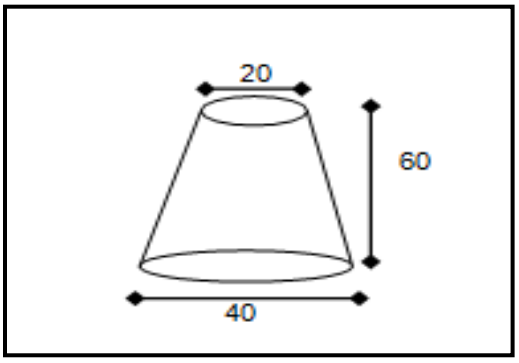


Figure II.16 : Essai d'affaissement au mini cône.

II.4.1.2 Maniabilité LCL

Afin de contrôler et de fixer la maniabilité à un temps d'écoulement de 12 seconde, un maniabilimètre LCL a été utilisé. Il s'agit d'un boîtier parallélépipédique métallique (7.5cmx 7.5cmx15cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibrateur et mini d'une cloison amovible, (figure II.17).



Figure II.17: Essai au maniabilimètre LCPC__B

II.4.1.3 Masse volumique apparente

La masse volumique apparente du mortier frais est déterminée conformément à la norme [EN 1015-6] (figure II.18).



Figure II.18 : Essai de masse volumique à l'état frais

II.4.1.4 Temps de prise du ciment

Le temps de début et fin de prise est effectué suivant la norme [EN 196-3]. IL est mesuré à l'aide de l'appareil de Vicat, (figure II.19) Pour cela, une pâte de ciment est introduite dans un moule tronconique posé sur une plaque de verre, qui sera à son tour placé sur la platine de l'appareil de Vicat.



Figure II.19 : Essai de temps de prise par l'appareil de Vicat

II.4.2 Essai de caractérisation à l'état durci

II.4.2.1Resistance à la flexion

Selon la norme [EN 196-1], l'essai consiste à rompre en flexion par trois point (figure II.20) des éprouvettes prismatiques de dimensions ($4\times4\times16cm^3$).

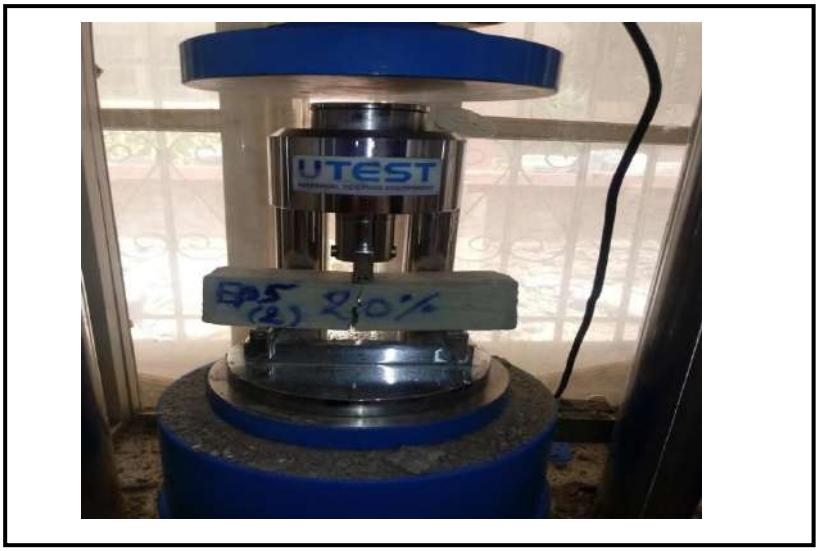


Figure II.20 : Essai de traction par flexion 3 points

II.4.2 .2Résistance à la compression

La résistance à la compression est mesurée conformément à la norme [EN196-1]. Les éprouvettes testées sont des pâtes de ciment de dimension $40x40x80cm^3$ et des mortiers en demi- prismes d'éprouvette $40x40x160\ cm^3$ obtenues a partir de l'essai de flexion (figure II.21).



Figure II.21 : Essai de compression

II.4.2.3 Conductivité thermique

La mesure de la conductivité thermique est effectuée, à l'aide CT-mètre [EN993-15], sur des demi-éprouvettes prismatiques 40x40x80mm^3 (figure II.22).



Figure II.22 : Essai de conductivité thermique

II.5. Essais de durabilité :

II.5.1 Essai de porosité :

La porosité accessible à l'eau est un paramètre de premier ordre dans l'évaluation de la durabilité, elle est déterminée par l'absorption d'eau par immersion, qui est la différence entre la masse d'un échantillon saturé dans l'eau est sa masse à l'état sec.

Dans cet essai les éprouvettes utilisées sont carottées à partir d'échantillons prismatiques ($40x40x160mm^3$) sont séchés dans l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante (variation de 0.1% après 24h), ainsi la masse sèche "Msec" de l'échantillon est déterminée.

Pour obtenir la porosité accessible à l'eau par immersion " P_W" les échantillons ont été immergés dans l'eau jusqu'à saturation (variation en masse de 0.1% après 24h) selon la norme NBN B 15-215, et sont pesés dans l'air "M_{sat}" et dans l'eau "M_{eau}". On définie P_W comme étant la porosité ouverte d'un matériau.

Pour obtenir la porosité accessible à l'eau par immersion sous vide "P_{wv}", les échantillons sont été saturés sous vide selon la norme NBN B 24-213 et pesés à l'air "$M_{sat\ V}$" et dans l'eau "M_{eauV}"

"P_{WV}" est définie comme étant la Porosité Totale du matériau.

Les porosités "P_W" et "P_{WV}" sont calculées respectivement selon les équations a et b :

$$P_W = \frac{Msat_Msec}{Msat_Meau} \times 100 \quad \% \qquad (a)$$

$$P_{WV} = \frac{Msat\,V_Msec}{MsatV - MeauV} \times 100 \quad \% \qquad (b)$$

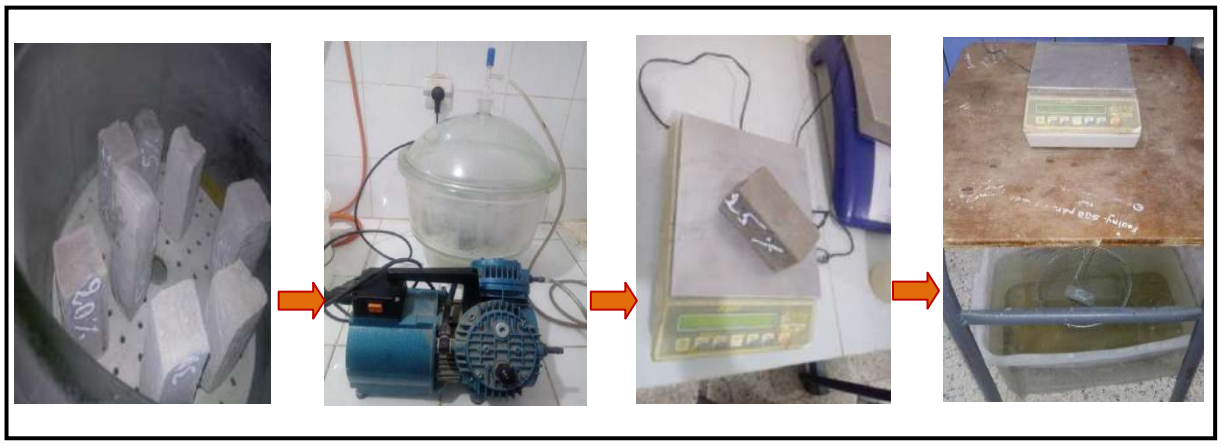


Figure II.23 : Essai de porosité

II.5.2 Essai d'absorption d'eau par capillarité :

Conformément à la norme NF EN 1015-18, dans cet essai on prend des éprouvettes cubiques 30x30x30mm^2 de pâte de (ciment + diatomite), ses parois sont déjà peintes et bien séchées. On le pèse (m0) au début, après on l'introduire dans un bac remplit d'un film d'eau (5mm d'eau) (figure II.24), et pendant chaque intervalle de temps (12min; 30min ; 1h ; 2h ; 4h ; 24h) on ressort les cubes du bac et on le pèse (m1).

Le différent de poids entre m0 et m1 est le poids de l'eau absorbés (m1-m0).

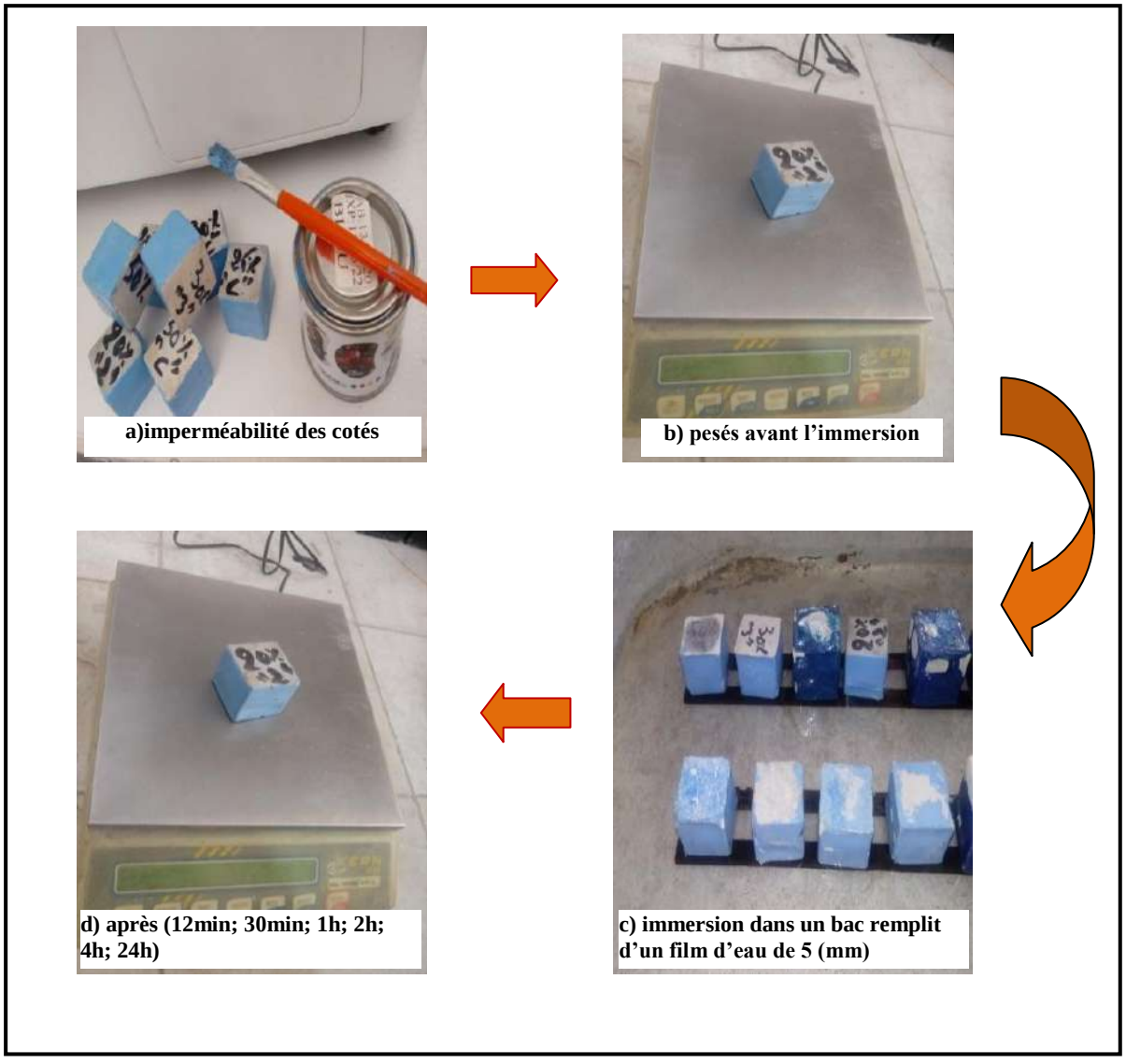


Figure II.24 : Essai d'absorption d'eau par capillarité sur mortiers

II.5.3 Durabilité vis-à-vis au milieu agressif

L'objectif de cette étude est de connaitre le comportement des mortiers ciment diatomite face aux attaques basique et acides. Les essais de durabilité ont été effectués sur des éprouvettes cubiques 30x30x30 mm^3, conforment à la norme [ASTM C 267].

L'évaluation de la durabilité au milieu agressif a été réalisée par évaluation de :

➢ II.5.3.1. Mesure de la variation de la masse :

Le degré de l'attaque du milieu agressif est mesuré à travers la perte de masse des éprouvettes

(figure II.25).

$$\boldsymbol{Variation\ DE\ MASSE}\ (\%) = \frac{\boldsymbol{M2 - M1}}{\boldsymbol{M1}}$$

M_1 : la masse des éprouvettes avant l'immersion dans la solution (g).

M_2 : la masse des éprouvettes après l'immersion dans la solution (g).



Figure II.25 : La mesure de masse durant l'immersion aux acides

➢ II.5.3.2. Mesure variation du PH :

Le suivi de la lecture du pH de la solution acide et la solution basique est réalisé grâce à un lecteur de PH durant la période d'immersion des éprouvettes, (figure II.26 et II.27).



Figure II.26 : Bandelettes à lecture de PH



Figure II.27 : La lecture de PH durant l'immersion aux acides

II.5.3.3 Préparation des Solutions Acides

A.Solution d'Acide chlorhydrique (HCl)

La solution agressive utilisée est une solution d'Acide chlorhydrique produit par la société Algérienne, l'acide chlorhydrique possède une masse molaire de 36.46 g/mole avec un degré de pureté de 97.23% (figure II.28)

Les éprouvettes de forme prismatique (3x3x3 cm^3) sont immergées dans une solution d'acide de 5% d'acide chlorhydrique (HCl) (figure II.29).



Figure. II.28 : Acide chlorhydrique (HCl)



Figure II.29 : Mesure de la résistance à l'acide (HCl)

B. Solution de sulfate de calcium ($CaSO_4$, 2 H_2O) :

La solution de sulfate hydraté naturel de calcium monoclinique, de faible dureté, usuellement appelé pierre à plâtre, avec une masse molaire 172,17 g/mol (figure II.30).

Les éprouvettes de forme prismatique (3x3x3 cm^3) sont immergées dans une solution de sodium 5 % hydroxyde de sodium ($CaSO_4$, 2 H_2O) (figure II.31).



Figure. II.30 : Sulfate de calcium ($CaSO_4$, 2 H_2O)



Figure II.31 : Mesure de la résistance à sulfate ($CaSO_4$, 2 H_2O

A.Solution de chlorure de sodium (NaCl)

La solution de chlorure de sodium. Cette solution est produite par la société Allemande. Cet acide avec une masse molaire de 58.44 g/mole et un degré de pureté de 60% (figure II.32).
Les éprouvettes de forme prismatique (3x3x3 cm^3) sont immergées dans une solution de sodium 5 % hydroxyde de sodium (NaCl) (figure II.33).



Figure II.32 : Chlorure de sodium (NaCl)



Figure II.33 : Mesure de la résistance au chlorure de sodium (NaCl)

II.5.3.4. Préparations des Solution Basiques

B. Solution d'Hydroxyde de sodium (NaOH)

La solution agressive utilisée est une solution basique (soude caustique) très forte d'hydroxyde de sodium produit par la société Allemande SIGMA-ALDRICH. L'hydroxyde de sodium a une masse molaire de 39.99g/mole avec un degré de pureté de 57.48%.(figure II.34).

Les éprouvettes de forme cubiques (3x3x3 cm^3) sont immergées dans une solution de sodium 5 % hydroxyde de sodium (NaOH) (figure II.35).



Figure II.34: Hydroxyde de sodium (NaOH)



Figure II.35 : Mesure de la résistance à l'Hydroxyde de sodium (NaOH)

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus pour les différents essais réalisées qu'on fait sur le mortier ciment diatomite.

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

III.2.1.Besoin en eau (maniabilité) et affaissement au muni cône

Les résultats de besoin en eau sont présentés sur la (figure III.1). Ce graphe donne les valeurs du besoin en eau des différents dosages de diatomite pour avoir une ouvrabilité plastique à travers les essais de maniabilité et affaissement au mini cône.

À travers la figure III.1 on observe que l'augmentation de dosage de diatomite augmente la quantité d'eau nécessaire pour assurer une ouvrabilité plastique de l'ordre de 5 à 7 cm d'affaissement et un temps d'écoulement de l'ordre de 12 à 15s , présenté dans la figure III.2. Ce résultat confirme que la diatomite est un matériau absorbant.

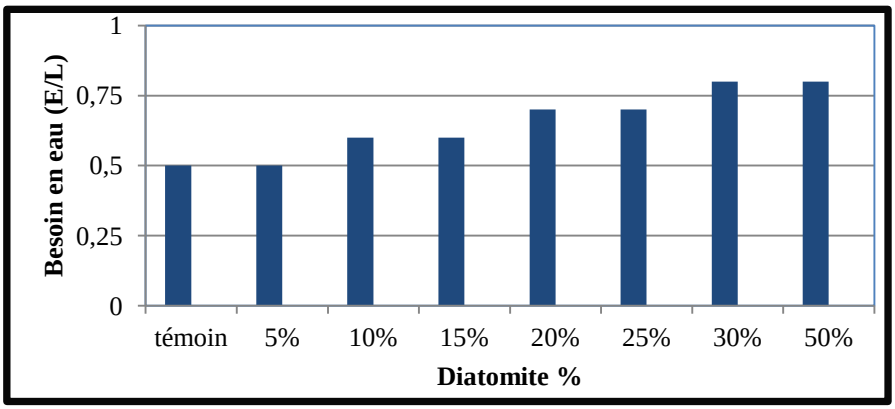


Figure III.1 : Besoin en eau en fonction des différents dosages de diatomite

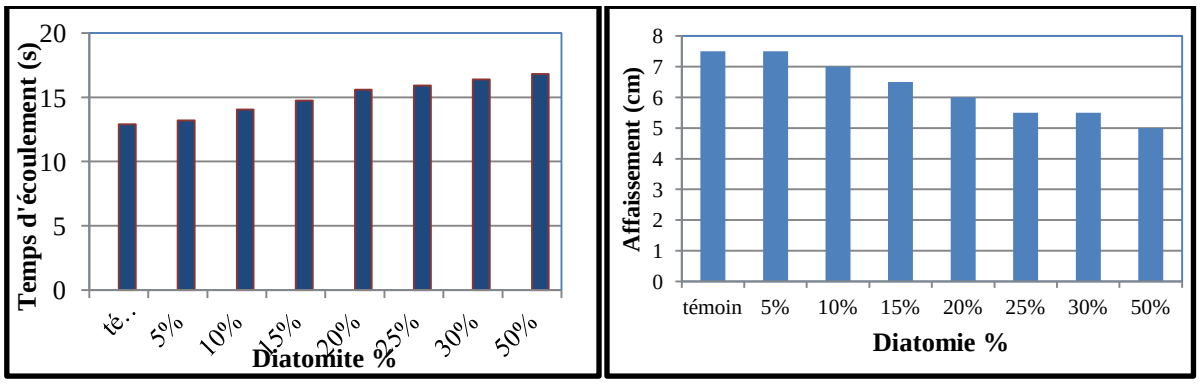


Figure III.2 : Temps découlement et affaissement au mini cône des mortiers en fonction des différents dosages de diatomite

III.2.2 Densité

Les différentes mesures de densité faites sur les mortiers à l'état frais, sont représentées sur la (figure III.3) qui permet de comparer les valeurs de la masse volumique avec différents dosages de diatomite.

D'après la figure on observe que la densité est diminue on fonction de l'augmentation de dosage de diatomite.

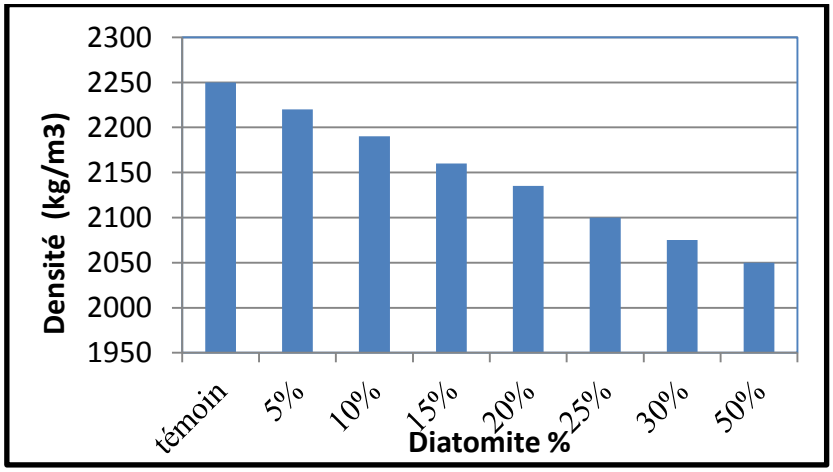


Figure III.3 : Densité des mortiers à l'état frais en fonction des différents dosages de diatomite

III.2.3 Temps de prise

Les résultats de temps de début et de fin de prise sont présentés sur la figure III.4.

On observe que le temps de prise augmente on fonction de l'augmentation de dosage de diatomite. Ce résulte semble logique, vu que l'augmentation de dosage en diatomite entraîne d'un côté, une réduction de quantité de ciment, d'autre côté l'absorption d'eau par la diatomite peut contribuer à réduire la cinétique de la réaction d'hydratation de ciment.

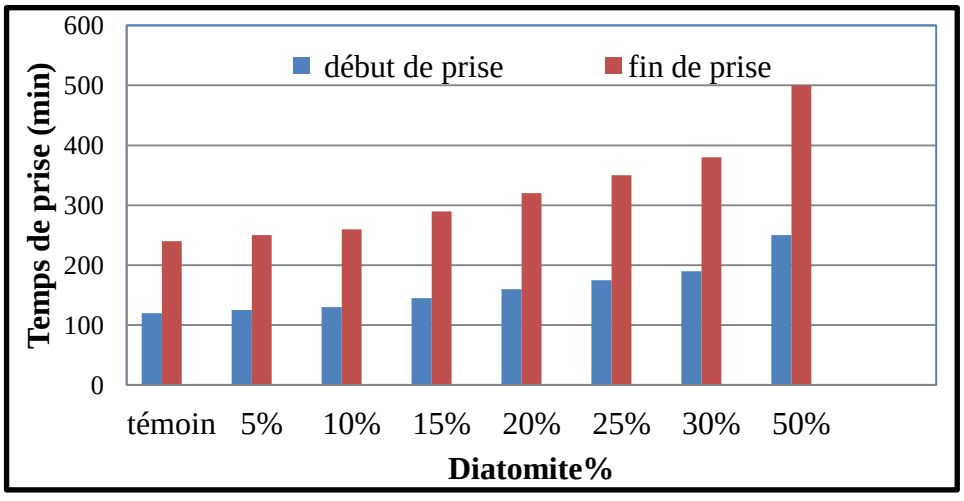


Figure III.4 : le temps de prise en fonction des différents dosages de diatomite

III.3 Caractérisations des mortiers a l'état durci

III.3.1 propriétés physiques

III.3.1.1 Densité

Les résultats de variation de densité des différents dosages de diatomite en fonction de l'âge jusqu'à 28 jours.

D'après les résultats de la figure III.5, on remarque que la densité diminue on fonction de l'augmentation de dosage de diatomite. Ces résultats confirment bien que la diatomite est un matériau léger.

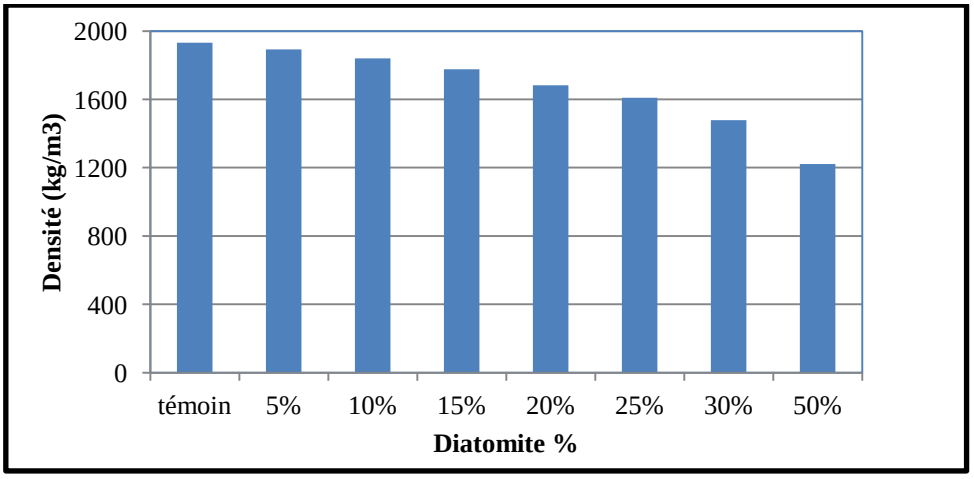


Figure III.5 : la densité a l'état durci en fonction de différents dosages de diatomite

III.3.1.2 Porosité

Les résultats de la porosité des différents dosages de diatomite pour un âge de 45 jours.

D'âpres les résultats de figure III.6, on remarque que la porosité augmente on fonction de l'augmentation de dosage de diatomite .Ces diminutions traduisent la légèreté de la diatomite.

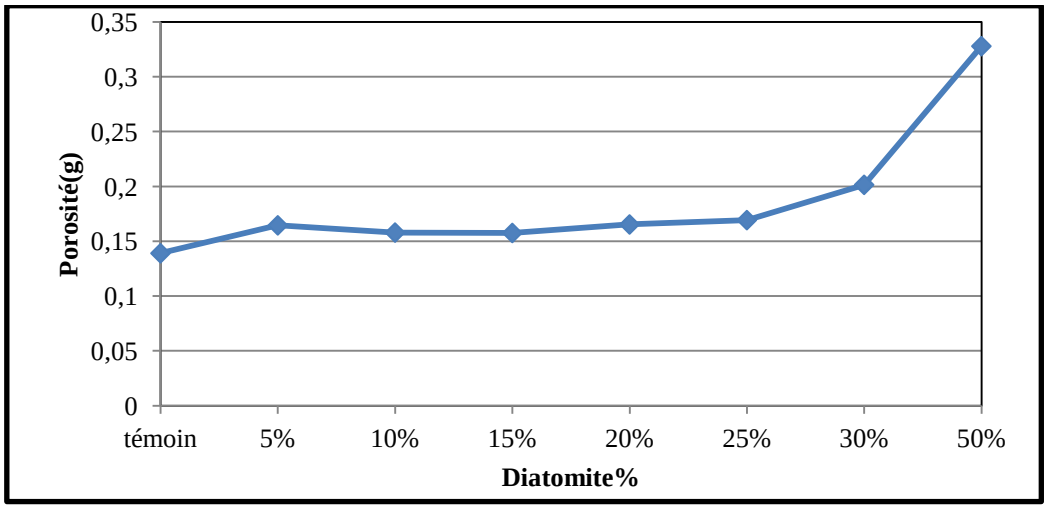


Figure III.6 : la porosité en fonction de différents dosages de diatomite

III.3.1.3. Conductivité thermique

Les résultats de la conductivité thermique des différents dosages de diatomite pour un âge de 45 jours.

D'âpres les résultats de figure III.7, on remarque que la conductivité thermique diminuer on fonction de l'augmentation de dosage de diatomite, sur ce graphe en constate qu'un dosage de 50% de diatomite donne une conductivité thermique de l'ordre de 0.325 w/m.k. Ces résultats confirment bien que la diatomite est matériau thermiquement isolant.

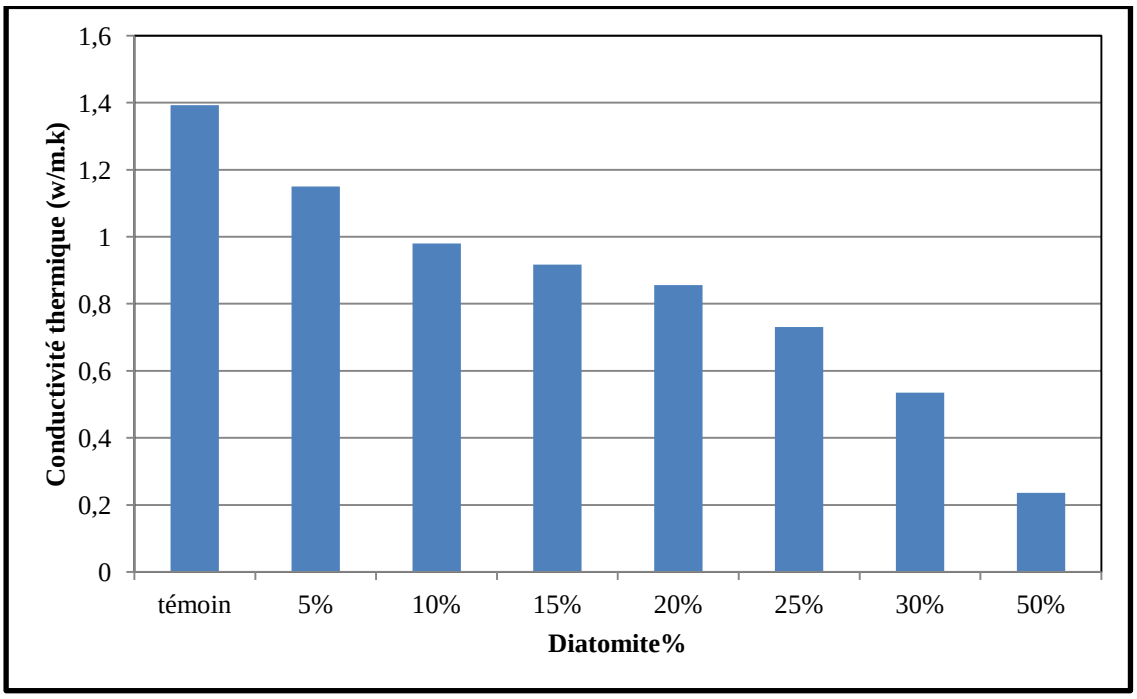


Figure III.7 : Les résultats de la conductivité thermique en fonction des différents dosages de diatomite

III.3.2 .Propriétés mécaniques

III.3.2.1. Résistance à la flexion

Les résultats de la résistance à la flexion des différents dosages de diatomite en fonction de l'âge jusqu'à 28 jours.

D'après les résultats présentés à la figure III.8, on remarque que pour tous les âges (3, 7 et 28 jours), les résistances de traction diminuent avec l'augmentation de dosage en diatomite.

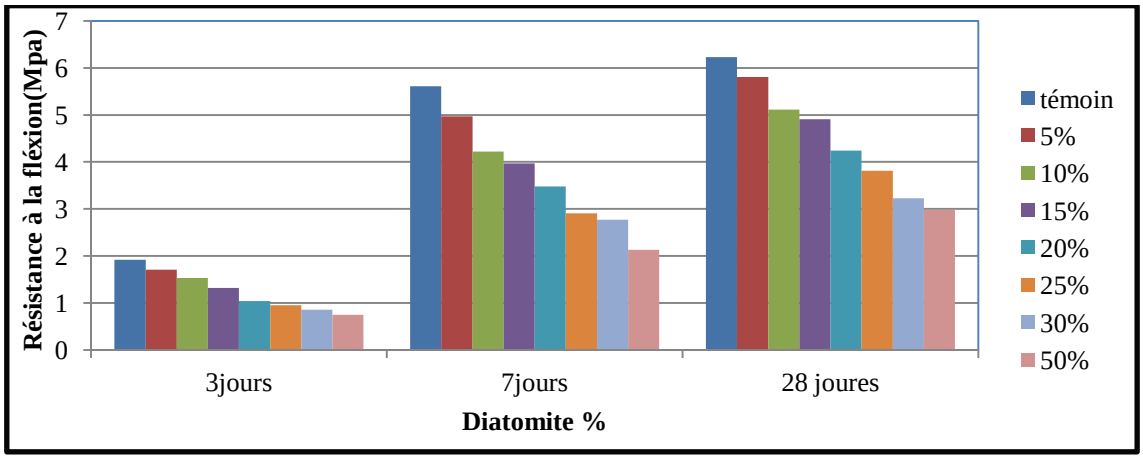


Figure III.8 : Resistance à la flexion en fonction des différents dosages de diatomite.

III.3.2.2.Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des différents dosages de diatomite en fonction de l'âge jusqu'à 28 jours.

D'après les résultats présentés à la figure III.9, on remarque que pour tous les âges (3, 7 et 28 jours), les résistances de la compression diminuent avec l'augmentation de dosage en diatomite.

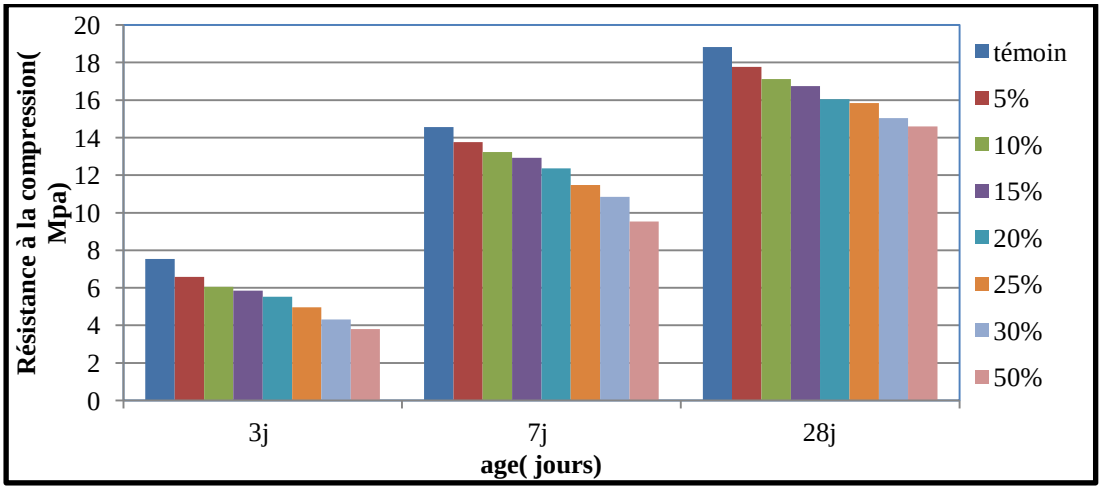


Figure III.9: Résistance à la compression en fonction des différents dosages de diatomite.

III.4. Essai de Durabilité

III.4.1. Absorption d'eau par capillarité

III.4.1.A. Mortier diatomite Sans superplasctifiant

L'essai de l'absorption d'eau par capillarité dans le temps des différentes dosages de diatomite, représenté sur la (figure III. 10).

D'après les résultats de figure III.10, on remarque que l'eau absorbée augmente en fonction de l'augmentation de dosages de diatomite.

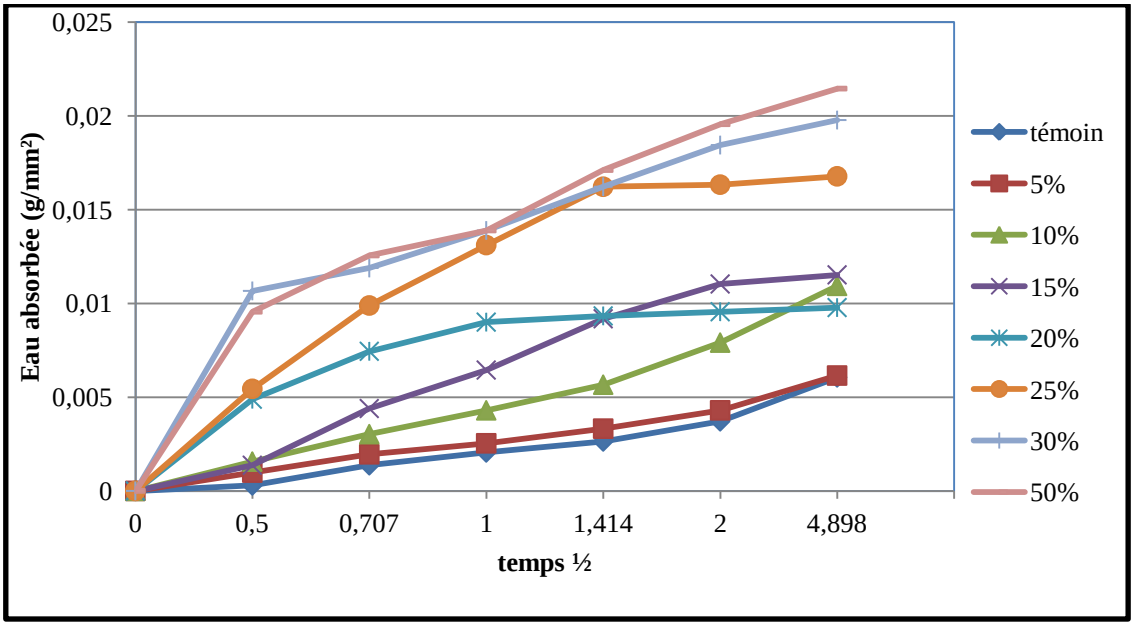


Figure III.10 : Absorption d'eau en fonction de différents dosages de diatomite sans superplasctifiant

III.4.1.B. Mortier diatomite Avec superplasctifiant

Pour le cas de l'absorption d'eau de mortier de diatomite avec superplastifiant, la figure (III.11), illustre une grande absorption d'eau comparativement au mortier formulé sons superplastifiant .

Cela nous semble logique, puisque l'emploi de superplastifiant ne permet pas de saturer les pores de la diatomite. Ce qui la rende avide de n'importe quelle solution quelle rencontre.

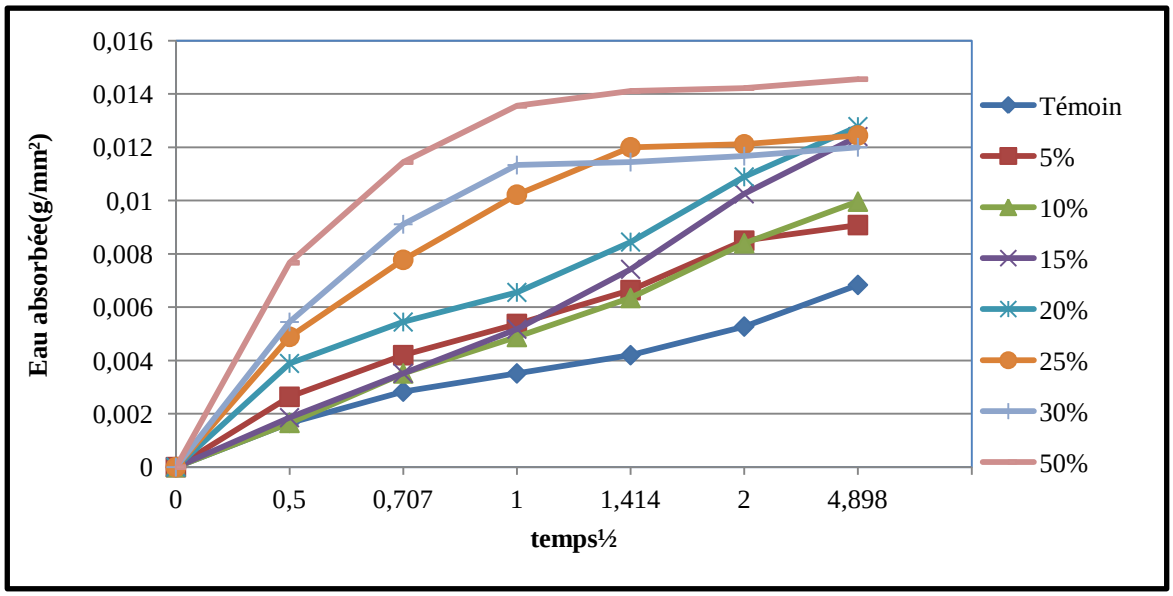


Figure III.11 : Absorption d'eau en fonction de différents dosages de diatomite avec superplasctifiant .

III.4.2. Durabilité vis-à-vis des milieux agressifs

Dans ce paragraphe, on présente en premier lieu l'Aspect visuelle des éprouvettes immergées dans les différentes solutions agressives, la variation de la masse et de PH.

III.4.2.1 Solutions Acides

A. Solution d'Acide chlorhydrique (HCl)

- **Aspect visuelle**

Avant l'immersion **Apres l'immersion**

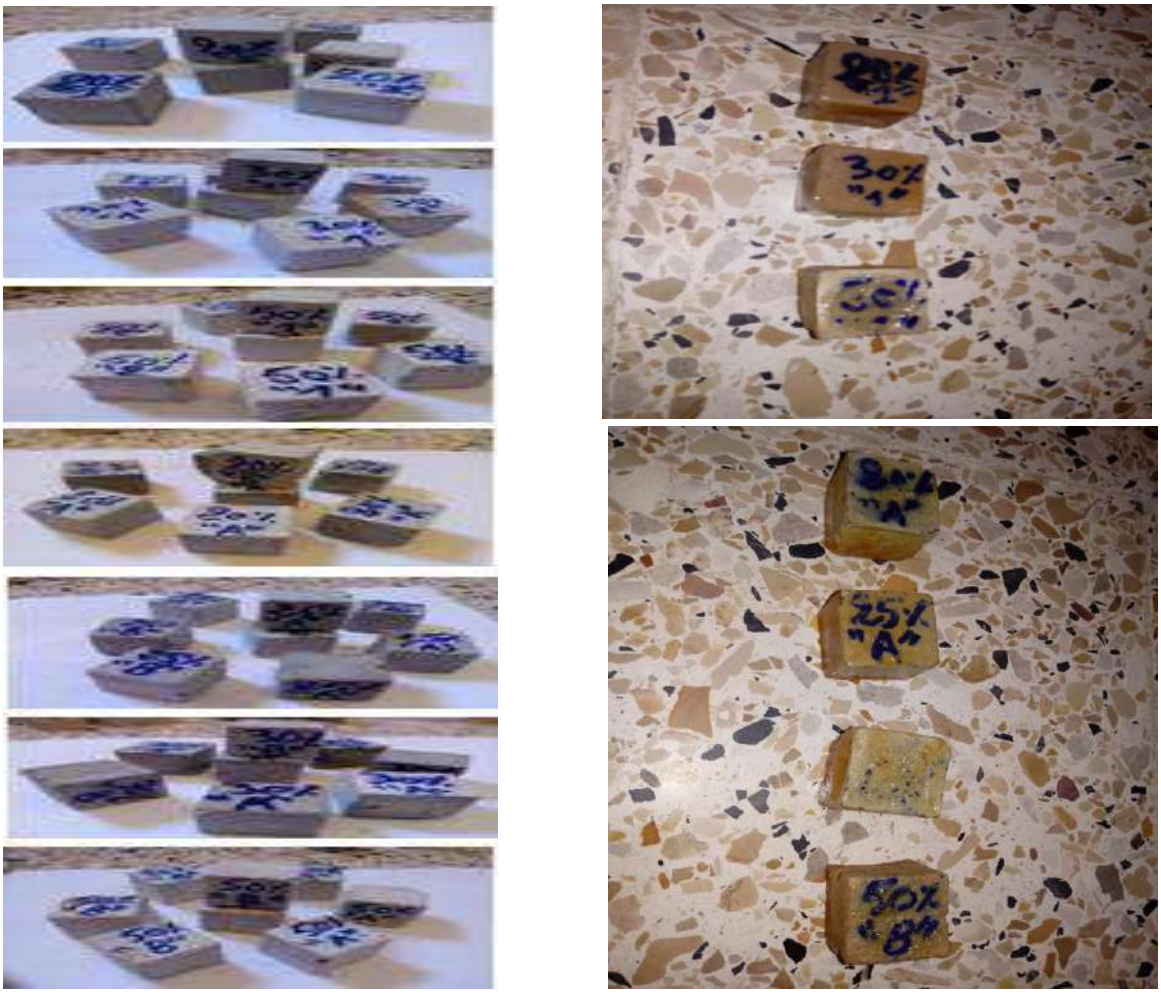


Figure III.12: Allure des éprouvettes avents et après immersion dons la solution HCl

- **Variation de masse**

Les résultats de la variation relative de la masse en fonction de la période d'immersion dans la solution HCl des éprouvettes des pâtes ciment diatomite est présenté dans la figure III.13.

On remarque, jusqu'à une période d'immersion de 28j dans le HCl, qu'une augmentation du dosage de diatomite entraîne une augmentation des masses des éprouvettes.

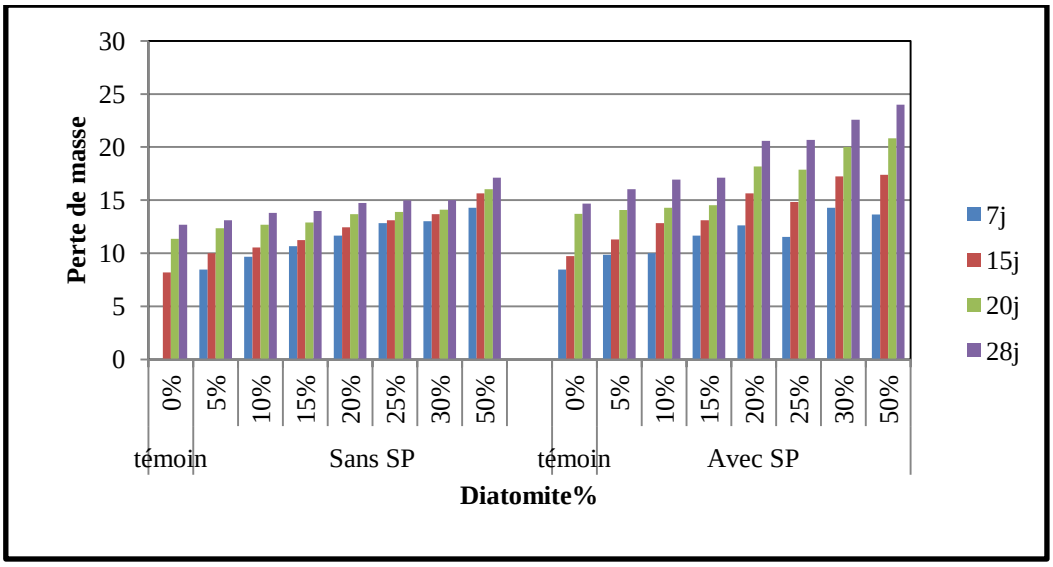


Figure III.13 : Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution HCl

- **Variation de PH**

Selon la figure III.14 on remarque l'acidité initial du HCL tend à se neutralise en fonction du temps.

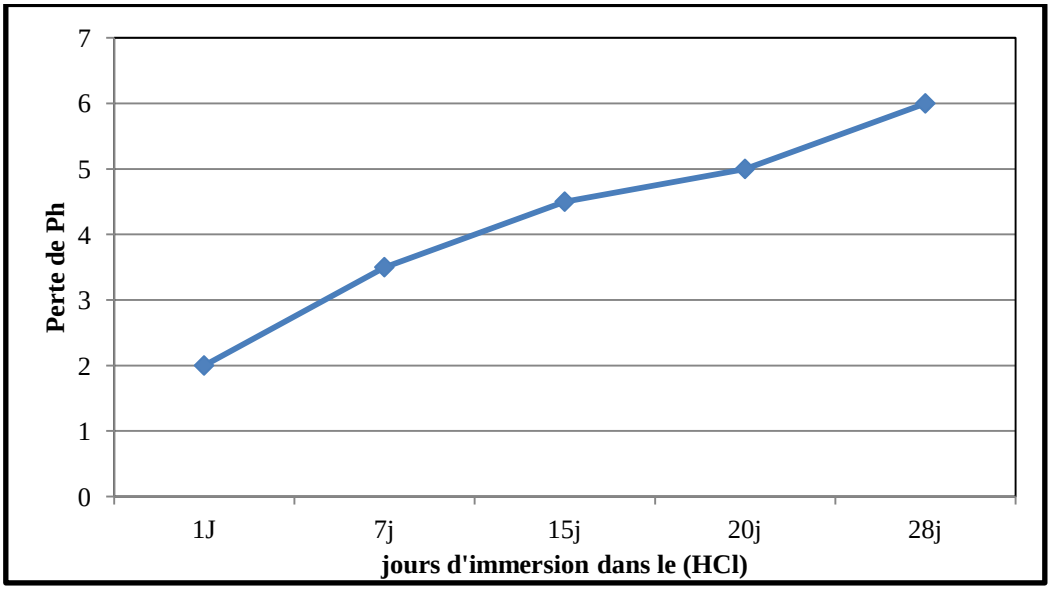


Figure III.14 : Variation de PH de HCl en fonction des jours

B. Solution de sulfate de calcium ($CaSO_4$, 2 H_2O)

- **Aspect visuelle**

Avant l'immersion **Apres l'immersion**

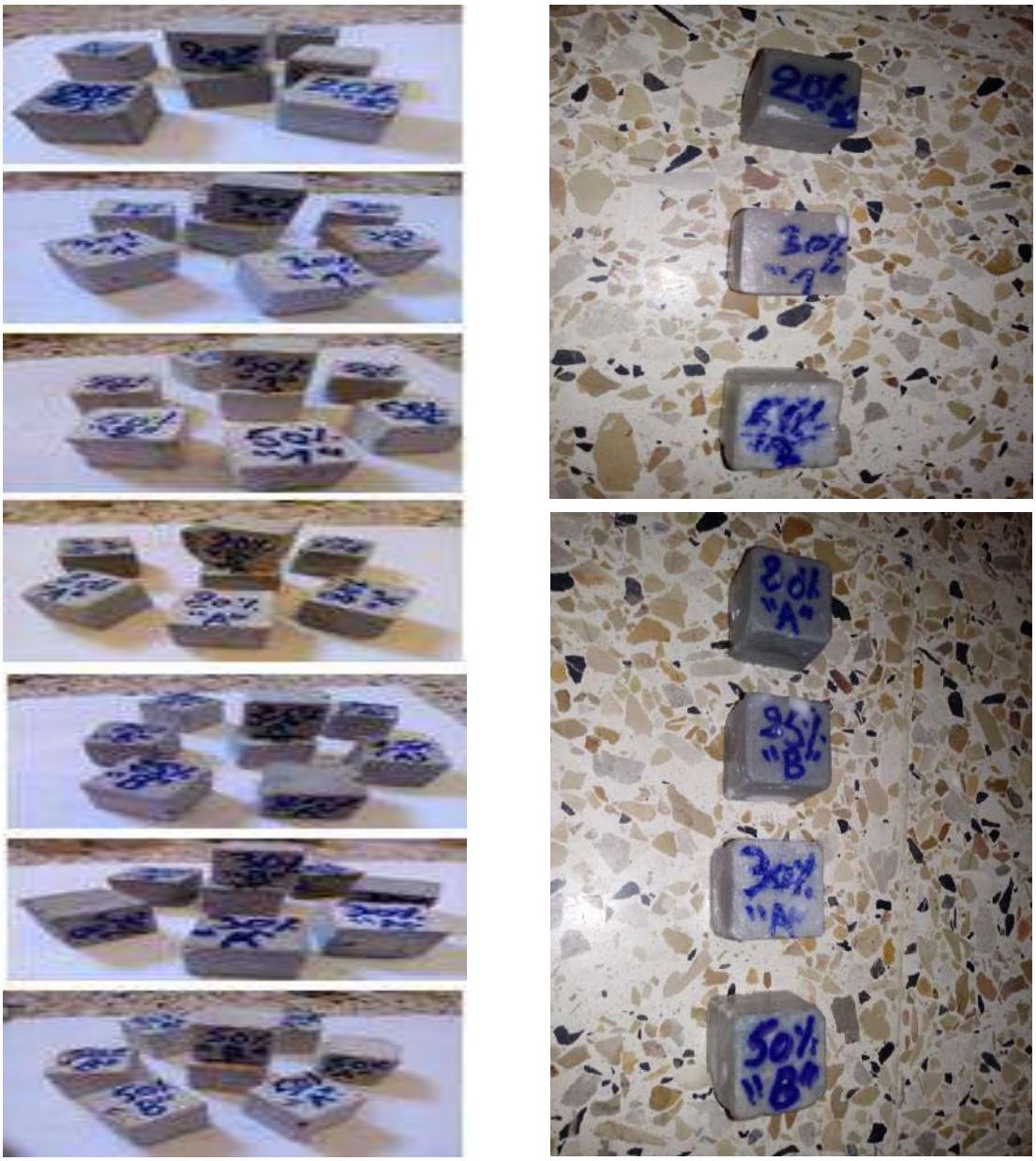


Figure III.15: Allure des éprouvettes avents et après immersion dons la solution $CaSO_4,2H_2O$

- **Variation de masse**

Les résultats de la variation relative de la masse en fonction de la période d'immersion dans la solution **($CaSO_4$, 2 H_2O)** des éprouvettes des pâtes ciment diatomite est présenté dans la figure III.16.

On remarque, jusqu'à une période d'immersion de 28j dans le **($CaSO_4$, 2 H_2O)** l, qu'une augmentation du dosage de diatomite entraîne une augmentation des masses des éprouvettes.

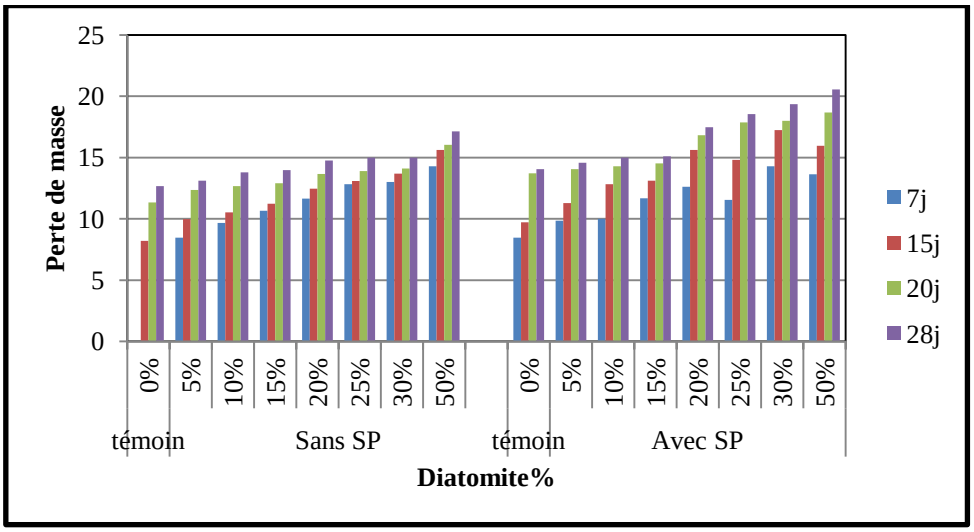


Figure III.16 : Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution ($CaSO_4$, 2 H_2O)

- **Variation de PH**

Selon la figure III.17 on remarque l'acidité initial du **($CaSO_4$, 2 H_2O)** tend à se neutralise en fonction du temps.

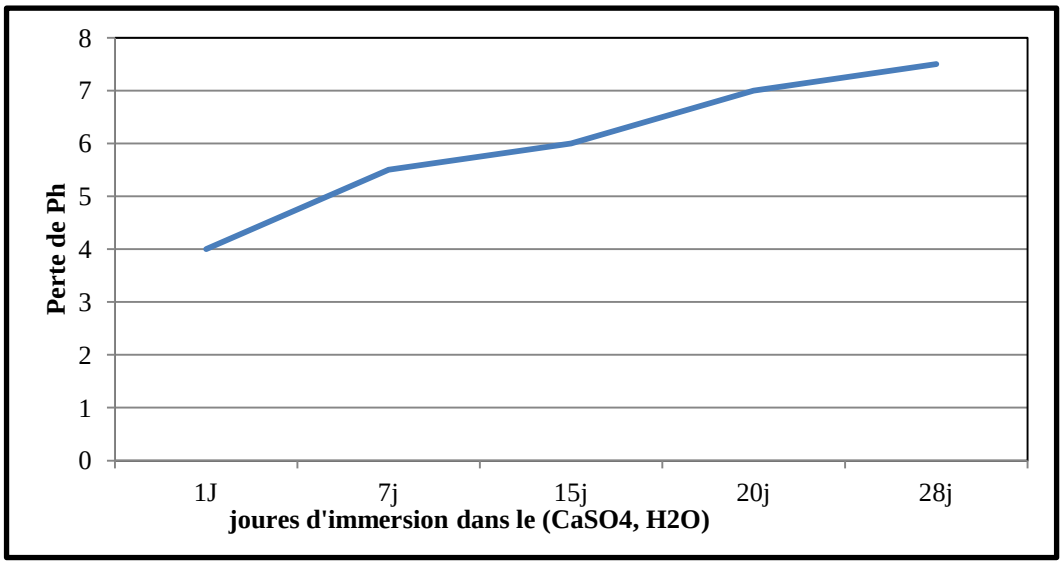


Figure III.17 : Variation de PH de ($CaSO_4$, 2 H_2O) en fonction des jours

III.4.2.2 Solution basique

A. Solution de chlorure de sodium (NaCl)

- **Aspect visuelle**

Avant l'immersion **Apres l'immersion**

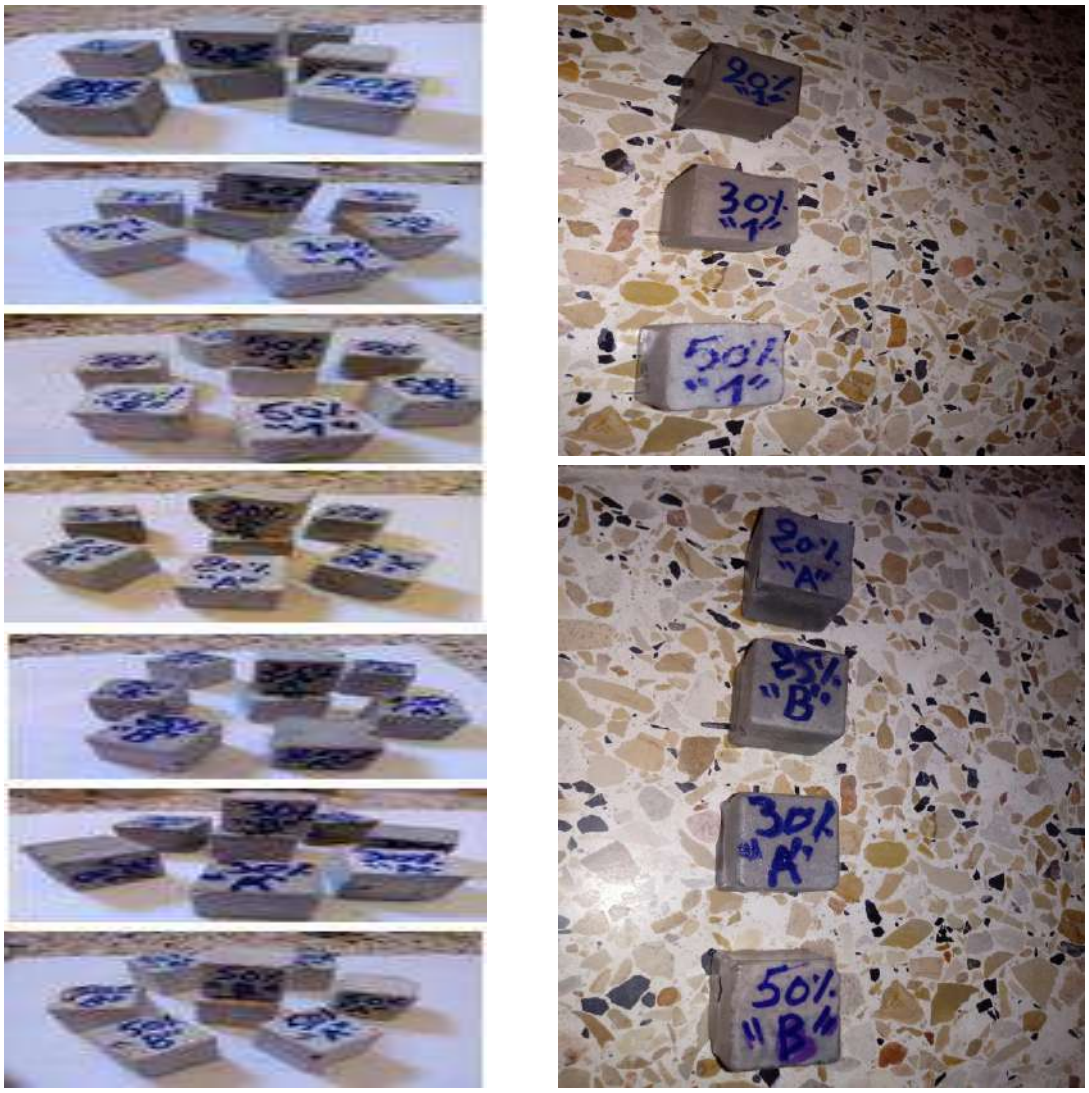


Figure III.18: Allure des éprouvettes avents et après immersion dons la solution NaCl

- **Variation de masse**

Les résultats de la variation relative de la masse en fonction de la période d'immersion dans la solution Na Cl des éprouvettes des pates ciment diatomite.

On remarque, jusqu'à une période d'immersion de 28j dans le NaCl, une augmentation des dosages de diatomite entraine une augmentation des masses des éprouvettes.

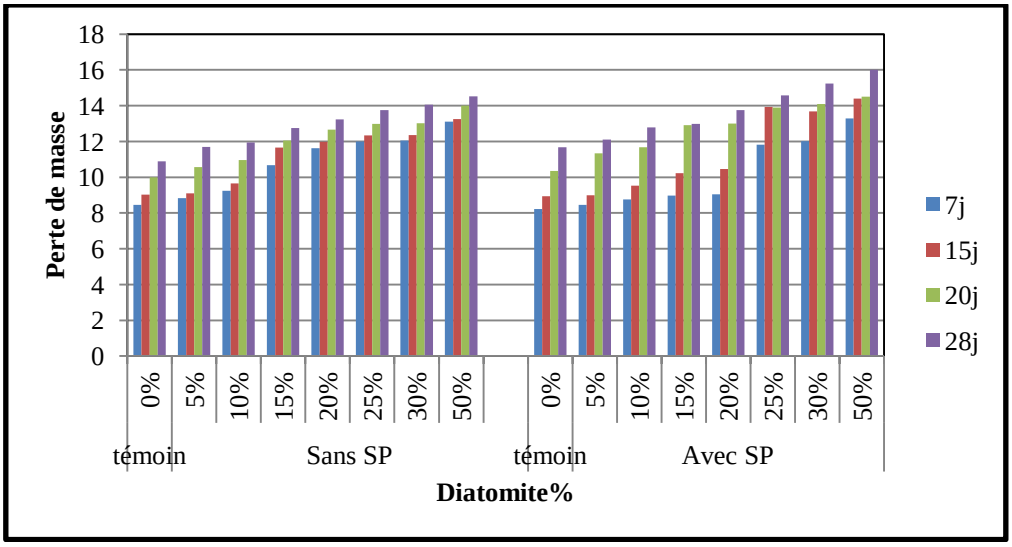


Figure III.19 : Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution NaCl

- **Variation de PH**

Selon la figure III.20, on remarque la basicité initial du NaCl tend à se neutralise en fonction du temps.

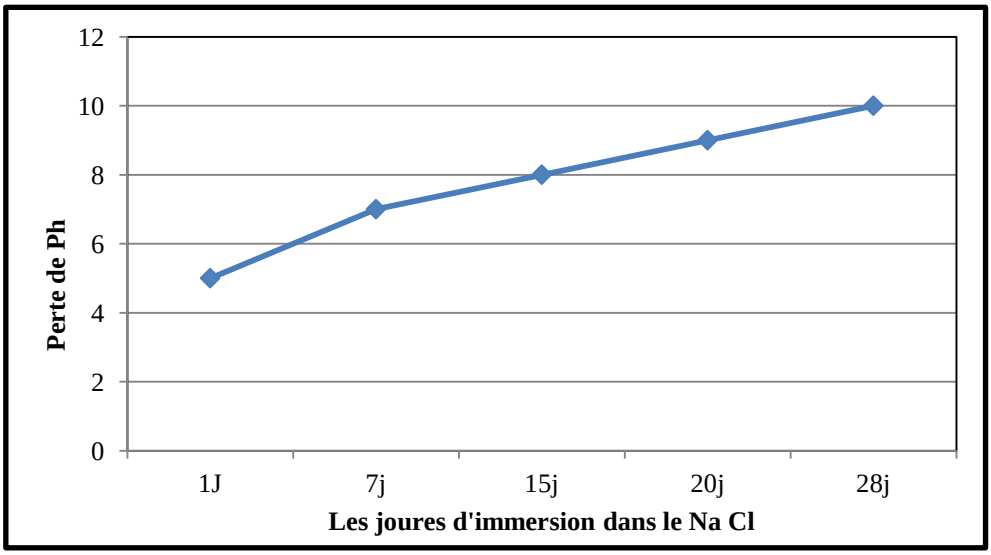


Figure III.20 : Variation de PH de NaCl en fonction des jours

B. Solution d'Hydroxyde de sodium (NaOH)

- **Aspect visuelle**

Avant l'immersion **Apres l'immersion**

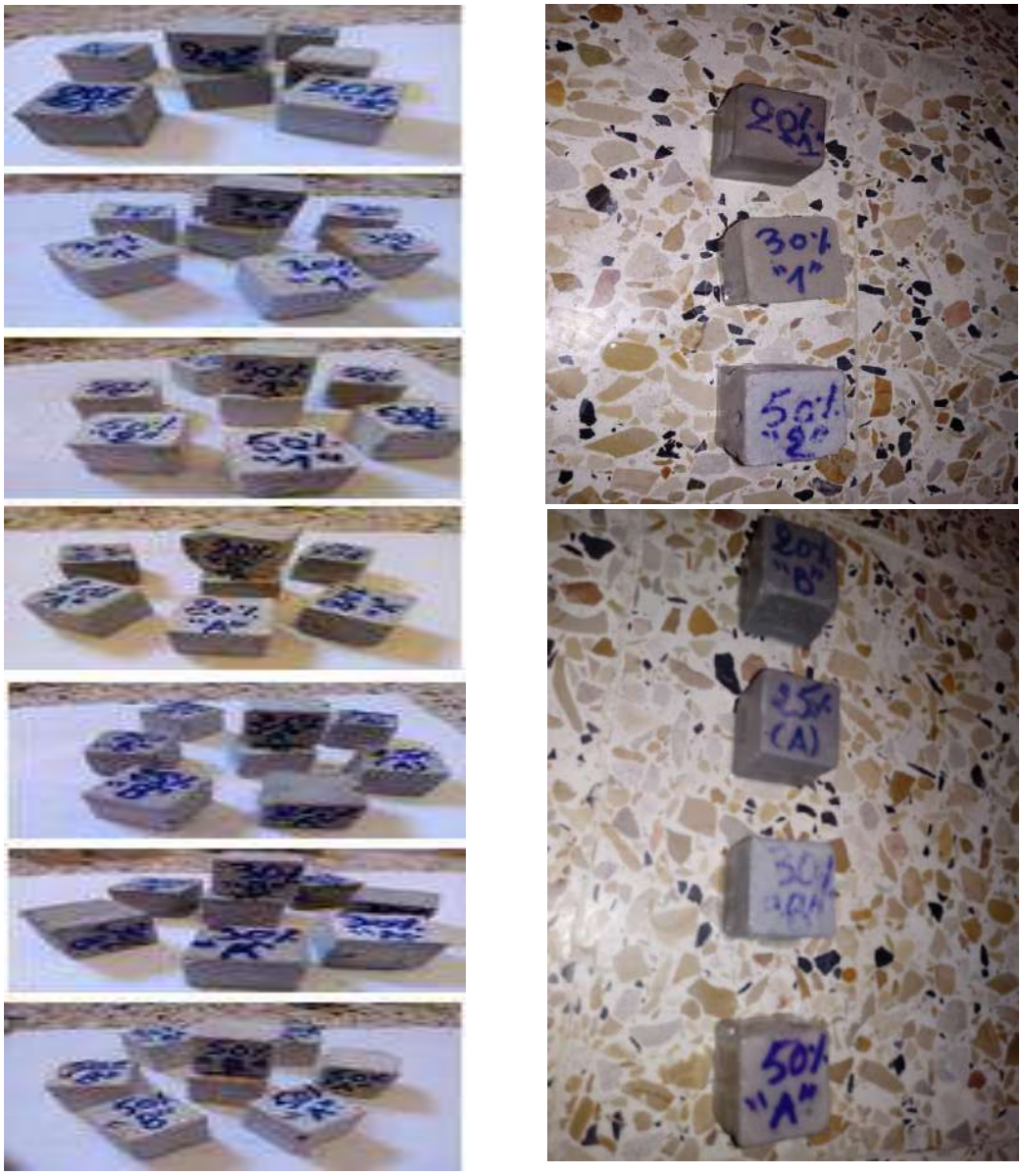


Figure III.21: Allure des éprouvettes avents et après immersion dons la solution NaOH

- **Variation de masse :**

Les résultats de la variation relative de la masse en fonction de la période d'immersion dans la solution NaOh des éprouvettes des pates ciment diatomite.

On remarque, jusqu'à une période d'immersion de 28j dans le NaOh, une augmentation des dosages de diatomite entraine une augmentation des masses des éprouvettes.

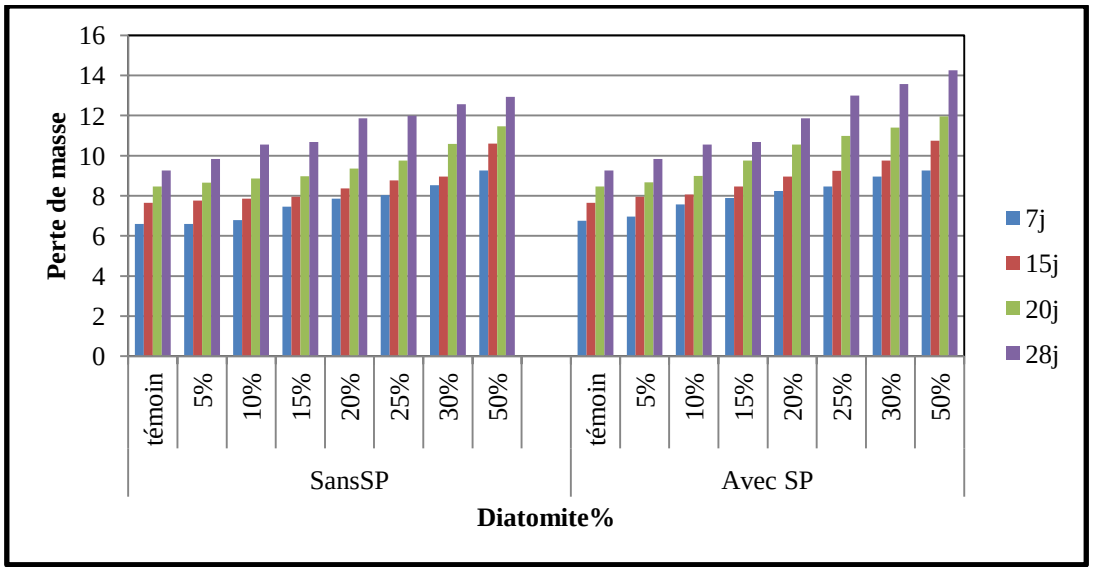
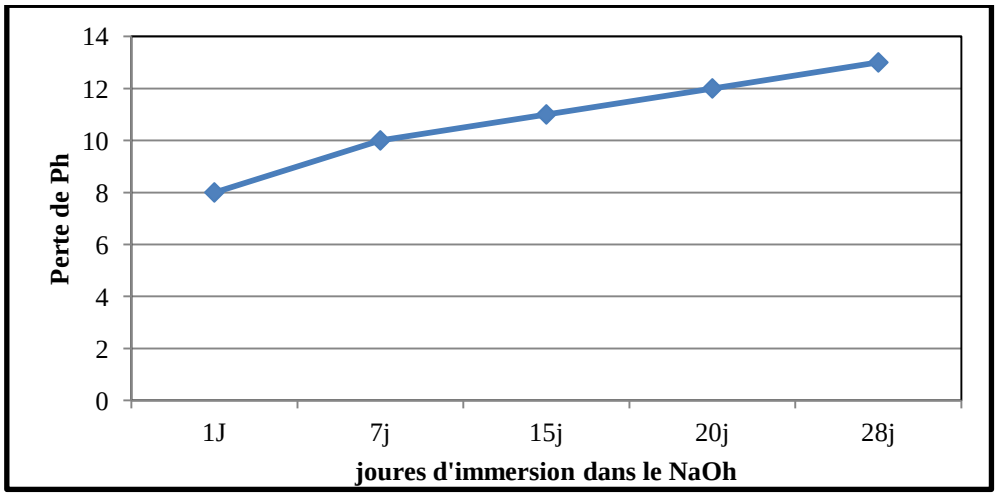


Figure III.22 : Evolution de masse des éprouvettes immergées dans une solution NaOh

- **Variation de PH**

Selon la figure III.23 on remarque basicité initial du NaOh tend à se neutralise en fonction du temps.



La figure III.23 : Variation de PH de NaOH en fonction des jours

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à la valorisation de la diatomite pour produire des mortiers. Les résultats des travaux réalisés ont conduit aux constatations et conclusions suivante:

- **Comportement de mortier à l'état frais**
  - ✓ Les mortiers de diatomite nécessitent un grand besoin en eau pour assurer une ouvrabilité acceptable.
  - ✓ Le temps de prise des pates du ciment augmente avec l'augmentation du dosage de diatomite, donc elle utilise comme un retardateur de prise.

- **Comportement de mortier à l'état durci**
  - ✓ Les mortiers à base de diatomite sont caractérisés par une faible densité accompagnée d'une forte porosité lorsque le dosage en diatomite augmente.
  - ✓ Les mortiers de diatomite sont caractérisés par une diminution de la conductivité thermique lorsque la teneur en diatomite augmente.
  - ✓ La résistance mécanique des mortiers diminue avec l'augmentation de dosage diatomite.

- **Durabilité des mortiers vis-à-vis des milieux agressifs**

  Dans cette partie en a évaluer l'effet de l'ajout de superplastifiant sur le comportement des pates de ciment-diatomite.
  - ✓ La présence de la diatomite dans les pates de ciment a entrainé une forte absorption d'eau. Cette absorption devient drastique, lorsque les pâtes sont formulées avec le superplastifiant.
  - ✓ Jusqu'a a l'âge de 28 j l'augmentation de dosage en diatomite provoque une augmentation de la perte de masse pour tous les solutions agressives (HCl, NaCl, $CaSO_4$ et NaOH).
  - ✓ Pour chaque dosage en diatomite, le PH augmente à cause de l'absorption de la solution par la diatomite.

Recommandations

Afin de compléter le travail de ce mémoire nous suggérons les recommandations pratiques suivantes :

- ✓ Suivre l'évolution de la résistance a la compression et à la traction par flexion à long terme.
- ✓ Suivre la durabilité à long terme (a l'âge de 28 jours).
- ✓ Notre travaille a été réalisée pour 28 j (les résultats sans obtenus a l'âge de 28 jours).

REFFERENCE

[1] Diatomite Société des Diatomites d'Algérie (DIATAL) [Entreprise Nationale des Tahalait quarry, Sig 2,000 Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles, S.p.A. ENOF 2000

[2] ***Durci & frais avec et sans superplastifiant*** abrao 2019 Evaluation of Portland pozzolan blended cements containing diatomaceous earth Cerâmica **65** (2019) Suppl.1 75-86

[3] Minerals Yearbook U.S. Department of the Interior U.S. Geological Surve ALGERIA [ADVANCE RELEASE]

[4] Ferraris, C. F., Obla, K. H., & Hill, R. (2001). The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement and concrete research*, *31*(2), 245-255

[5] Wallevik, J. E. (2006). Relationship between the Bingham parameters and slump. *Cement and Concrete Research*, *36*(7), 1214-1221.),

[6] LEMONS J., 1996. *Diatomite.* The american Ceramic society Bulletin, 75

[7] Hasanzadeh and Sun, J. Build. Mater. Struct. (2018)

[8] *pedro.abrao@lme.pcc.usp.br*
https://orcid.org/0000-0002-3416-3196

[9] A.C. Aydin, R. Gu¨l / Construction and Building Materials 21 (2007) 1277–1281

[10] Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite
Zahra Ahmadi

[11] NBN B 24-213 Essais des matériaux de maçonnerie ; Absorptiond'eau sou vide, Bruxelles, 1976

[12] A. Ergün, "Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 806–812, 2011

[13] D. Fragoulis, M. G. Stamatakis, D. Papageorgiou, and E. Chaniotakis, "The physical and mechanical properties of composite cements manufactured with calcareous and clayey Greek diatomite mixtures," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 2, pp. 205–209, Feb. 2005.

[14] . Stamatakis, D. Fragoulis, G. Csirik, I. Bedelean, and S. Pedersen, "The influence of biogenic micro-silica-rich rocks on the properties of blended cements," *Cement and Concrete Composites*, vol. 25, no. 2. pp. 177–184, 2003. al.

[15] Kastis, G. Kakali, S. Tsivilis, M. G. Stamatakis: Properties and hydration of blended cements with calcareous diatomite, Cement and Concrete Research Vol. 36 (2006), p. 1821– 1826.

[16] B. Yılmaz, N. Ediz: The use of raw and calcined diatomite in cement production, Cement & Concrete Composites Vol. 30 (2008), p. 202–211

[17] A. C. Aydin and R. Gül, "Influence of volcanic originated natural materials as additives on the setting time and some mechanical properties of concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 21, no. 6, pp. 1277–1281, 2007

[18] Degirmenci, N., & Yilmaz, A. (2009). Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars. *Construction and Building Materials*, *23*(1), 284-288

[19] Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite ,Susiainable Materials and Technologies ; Vol 16 ,pp.47-5 3 ,2018

[20] TAGNIT-HAMOU, A., PETROV, N. & LUKE, K. (2003). Propiedades del concreto agregando tierra de diatomeas. *En: ACI materials journal Vol 100, pp.73-78*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publica tion/281366636_Properties_of_Concrete_Containing_Diatomaceous_Earth

[21] Study of the effect of diatomite as a partial replacement of cement in cement pastes Zahalkova Jana

[22] Waste diatomaceous earth as cementitious binder constituent STANĚK Theodor

[23] R. Č. Jaroslav Pokorný, Milena Pavlíková, Igor Medveď, Zbyšek Pavlík, Jana Zahálková, Pavla Rovnaníková, "Influence of various amount of diatomaceous earth used as cement substitute on mechanical properties of cement paste," *Am.*

Inst. Phys., vol. 1738, 2016

[24] ***Jiaqi 2019*** Green concrete containing diatomaceous earth and limestone:Workability, mechanical properties, and life-cycle assessment Journal of Cleaner Production 223 (2019) pp 662- 679

[25] ZAHALKOVA Jana 2016 **Study of the effect of diatomite as a partial replacement of cement in cement pastes**

[26] Warren 2009

[27] Pokorny .2016

[28] Boucherit Younes Boudemagh Nadir ;
Theme ;Caractérisation physique et mécanique de la diatomite de sig

[29] Laoufi L., Senhadji Y. , Benazzouk A. , Langlet T. ,. Mouli M et Benosman A. S. Evaluation de la durabilité de mortiers pouzzolaniques exposés à une attaque chimique (*Assessment of pozzolanic mortars sustainability exposed to chemical attack*)

[30] Minerals Yearbook U.S. Department of the Interior U.S. Geological Surve Algeria [advance release]

[31] Ferraris, C. F., Obla, K. H., & Hill, R. (2001). The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement and concrete research*, *31*(2), 245-255

[32] Wallevik, J. E. (2006). Relationship between the Bingham parameters and slump. *Cement and Concrete Research*, *36*(7), 1214-1221.),

[33] Baroghel-Bouny V , Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages-indicateurs de durabilité. Groupe de travail AFGC, Paris, 2004

[34] NBN B 15-215, Essais de bétons, Absorption d'eau par immersion, Bruxelles, 1969



Figure 1 : Essai de traction par flexion 3 points



Figure 2 : Essai de compression



Figure 3 : Acide chlorhydrique (HCl)



Figure4: Sulfate de calcium ($CaSO_4$, 2 H_2O)



Figure 5 : Hydroxyde de sodium (NaOH)



Figure 6 : Chlorure de sodium NaCl





Figure 7 : bandelette a lecture de PH





Figure 8 : Essai de porosité



Figure 9 : Essai d’absorption capillaire



Figure 10 : Appareille de calcimétre





Figure 11 : les tamis depuis 5mm à 45 um