REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA**



Faculté de Technologie

# Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : matériaux en génie civil

Thème :

# Contribution à la valorisation de la diatomite dans la fabrication (brique, mortier et pâte de ciment)

**Présenté par**

- ABBA Fatiha
- BELKACEMI Marwa

**Proposé et Dirigé par**

Mr : BOUKSANI OMAR

**Promotion Juin 2020**

# *Remerciement*

*«Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu DIEU Miséricordieux, qui nous a donné la force d'achever cette réalisation.»*

*Nous voudrions également remercier le M. BOUKSANI pour l'intérêt qu'il a porté et à sa patience pour diriger cette thèse.*

*Nous tenons à remercie chaleureusement les membres du jury,*
*Nous leur exprime toute ma gratitude.*
*Nous tenons à remercier également l'ensemble, des enseignement du département de génie civil, qui ont contribué à notre formation.*

*Nous remercions pareillement l'ensemble des membres du laboratoire de EPTRC*

# *DEDICACE S*

*Je dédie ce projet*

*A Mon cher père Mr :Ali ABBA*

*A Ma chère mère Mm :Houria Raghal*

*Qui' n'ont jamais cessé, de formuler des prières à égard de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs*

*Ames frères Abdelkader, bilel , seddik .*

*Ames sœurs fatima zohra ,Djamila , Nafissa*

*Aux enfants de mes frères Rania ,Ritadj, sidali , Israa, Abdelmalek, Rofran,et Abdelrahim*

*Aux enfants de mes sœurs Abdkader,mohamed, Abdelmoain,Amina ,Djouaria,hossem, Ishak,Rasim*

*Pour ses soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études .*

*Amon binôme Belkacemi Maroua .*

*Pour sa entent et sa sympathie*

*A Toutes mes chères amies*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment*

***ABBA Fatiha***

# *DEDICACES*

*Je dédie ce travail aux êtres qui me sont les plus chers je cit*

*Les parents les plus chers au monde, papa et maman, que dieu les garde et les protège.*

*Aux mes sœurs : Hadjer, Houda, Sameh et mon frère Mohamed aymen.*

*Mes chers cousines : Ilham, Marwa, Aicha, Mazora ,Khadidja ,Zineb ,Amina et Hassina .*

*Touts mes amies, particulièrement : Bouchra , Samira , Radhia ,Djamila et Feriel .*

*Et ma merveilleuse et belle amie ma binôme:*

*Abba fatiha*

*Pour sa entent et sa sympathie.*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.*

*Et tout la promotion 2020 spécialement Matériau de génie civil.*

***BELKACEMI Marwa***

**Résumé**

L'utilisation de la diatomite est peu répandue dans la fabrication des matériaux en génie civil. 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, une première phase de caractérisation des propriétés physico-chimiques a été réalisée sur la diatomite brute et traitée thermiquement. Le traitement thermique consiste à calciner la diatomite à des températures de 200, 400, 600, 800 et 1000°C. Une fois les diatomites caractérisées, des mortiers seront confectionnés par un remplacement partiel du ciment par des pourcentages de 5%, 10%, 15% et 20% du diatomite. Ceci, en fixant l'ouvrabilité une fois par l'augmentation du rapport Eau/Liant et en fixant ensuite le rapport Eau/Liant à 0.35 par l'utilisation d'un superplastifiant.

Les résultats ont montré que l'incorporation de la diatomite dans le mortier, lui confère des performances multiples par rapport au mortier ordinaire soit avec ou sans utilisation de superplastifiant.

Pour les mortiers à base de diatomite formulés avec superplastifiant, les résistances mécaniques en compression et en flexion sont largement améliorées par rapport à ceux des mortiers ordinaires. Néanmoins, les caractéristiques physiques sont légèrement améliorées.

Cependant, lorsque les mortiers à base de diatomite sont formulés avec une ouvrabilité constante, l'augmentation du rapport Eau/Liant a amélioré les caractéristiques physiques à travers la réduction significative de la conductivité thermique et de la densité. Ceci au détriment d'une nette réduction de leurs résistances mécaniques par rapport à ceux des mortiers ordinaires.

**Abstract**

The use of diatomite  is not widespread in the manufacture of civil engineering materials. However, when added to cement, it can modify the physical and mechanical properties of concrete and mortar.

The main objective of this work is to enhance the incorporation of diatomite in the formulation of cement mortars. In this context, a first phase of characterization of the physicochemical properties was carried out on crude and heat treated diatomite. The heat treatment consists in calcining the diatomite at temperatures of 200, 400, 600, 800 and 1000 ° C. Once the diatomites have been characterized, mortars will be made by partially replacing the cement with percentages of 5%, 10%, 15% and 20% of diatomite. This, by fixing the workability once by increasing the Water / Binder ratio and then fixing the Water / Binder ratio at 0.35 by the use of a superplasticizer.

The results showed that the incorporation of diatomite in the mortar, gives it multiple performances compared to ordinary mortar either with or without the use of superplasticizer.

For diatomite-based mortars formulated with superplasticizer, the mechanical strengths in compression and bending are greatly improved compared to those of ordinary mortars. Nevertheless, the physical characteristics are slightly improved.

However, when diatomite-based mortars are formulated with constant workability, the increase in the Water / Binder ratio has improved the physical characteristics through the significant reduction in thermal conductivity and density. This is to the detriment of a marked reduction in their mechanical strengths compared to that of ordinary mortars.

# الملخص


حاليا، الدياتوميت لايستخدم على نطاق واسع في صناعة مواد البناء. ومع ذلك ، عند استعماله مع الأسمنت ، فإنه من الممكن أن يعدل الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة والملاط

الهدف الرئيسي من هذا العمل هوتثمين استعمال الدياتوميت الخام والمعالج بالحرارة ، في صياغة ملاط الأسمنت

في هذا السياق ، ففي مرحلة أولى فقد تم تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للدياتوميت الخام والمعالج بالحرارة. يتم العلاج الحراري باحراق الدياتوميت عند درجات حرارة 200 و 400 و 600 و 800 و 1000°م. بمجرد أن يتم التعرف على خصائص الدياتوميت ، سيتم صياغة الملاط عن طريق استبدال الأسمنت جزئيًا بنسبة% 5 و% 10 و% 15 و 20% من الدياتوميت. يتم ذلك بطريقتين " الاولى عن طريق تتثبيت قيمة قابلية التشغيل عن طريق زيادة نسبة الماء / (وزني اسمنت+دياتوميت). اما الثانية .فعن طريق تحديد نسبة الماء / (وزني اسمنت+دياتوميت) عند 0.35 باستخدام اضافة ذات اللدونة العالية.

أظهرت النتائج أن دمج الدياتوميت في الملاط يمنحها نجاعة متعددة مقارنة بالملاط الأسمنتي العادي سواء باستخدام أو بدون استخدام اضافة ذات اللدونة العالية.

بالنسبة لملاط الدياتوميت المصاغ باستخدام اضافة ذات اللدونة العالية ، فإن نقاط القوة الميكانيكية في الضغط والانحناء تتحسن بشكل كبير مقارنة مع الملاط الأسمنتي العادي. ومع ذلك ، فإن الخصائص الفيزيائية تحسنت قليلاً..

ومع ذلك ، عندما يتم صياغة ملاط الدياتوميت مع قابلية التشغيل ثابتة ، فإن الزيادة في نسبة الماء / (وزني اسمنت+دياتوميت) 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

# Sommaire

**Remerciement**

**Résumé**

**Introduction générale** …… 18

**Objectif de mémoire**…….. 18

**Plan de travail**…… 19

## Chapitre I : Revue bibliographique

**I** Introduction…..... 21

**I .1.1** Définition de la diatomite ……... 21

**I .1.2** Formation des gisements de diatomite …….. .. 22

**I .1.3** Propriétés des diatomites ……. 23

**I.1 .4** Reserve et Production mondiale de la diatomite……... 24

**I.1.5** Domaines d'utilisation…….. 25

**I.1 .6** Méthode d'Exploitation de la diatomite…… 28

**I .2** Etat de la Diatomite en Algérie…… 28

**I .2.1** Situation géographique des gisements de diatomites ……. 28

**I .2.2** Géologie et structure du gisement …… 30

**I .2.3** Reserve et production Locale ……... 31

**I .2.4** Evaluation économique de la diatomite…… 31

**I .3** Exploitation de la diatomite …….. 32

**I.3.1** Extraction des terres diatomées……. 33

**I .3.2** Transport de la diatomite..... 35

**I .3.3** Concassage……. 35

**I .3.4** Séchage de la diatomite…… 35

**I .3.5** Broyage……. 35

**I .3.6** Conditionnement et Ensachage……. 36

**I .4** Hydratation système Ciment- diatomite …….. 37

**I .4.1** Hydratation de ciment …….. 37

**I.4. 2** Réaction pouzzolaniques…….. 37

**I.5** Propriétés de ciment -diatomite à l'état Frais…… ……. 38

**I.5.1** Maniabilité et Ouvrabilité…….. 38

**I.5.2** Temps de prise……... 40

**I.6** Propriétés du ciment- diatomite à l'état Durci…….. 41

**I.6.1** Résistance à la compression…….. 41

**I.6.1.1** Dosage en diatomite …….. 41
**I.6.1.2** Influence du Superplastifiant …… 44
**I.6.1.3** Influence du rapport E/C ……. 45
**I.6.1.4** Effet de la finesse de la diatomite…….. 47
**I.6.1.5** Effet de traitement de la diatomite…….. 48
**I.6.2** Résistance à la Traction……. 49

# Chapitre II : Matériaux et Essais

**II** Introduction…….. 51

**II.1** Matériaux utilisés ……. 51
**II.1.1** Ciment……... 52
**II.1.2** Sable ……. 53
**II.1.3** Superplastifiant…… 53
**II.1.4** Eau de gâchage…….. 53
**II.1.5** Poudre aluminium……. 54
**II.1.6** Gypse ..... 54
**II.1.7** Chaux…… 54
**II.1.8** Diatomite……... 55
**II.2** Préparation des Formulations et essai de caractérisation ..... 56
**II.2.1** Préparation et séquence de malaxage des pâtes de ciment……..... 58
**II.2.2** Préparation et séquence de malaxage des mortiers……. 60
**II.2.3** composition et Séquence de malaxage du mortier léger……. 60
**II .3.** Essai de caractérisation des pâtes et Mortiers…….. 61
**II .3.1** Essai de caractérisation à l'état frais……... 61
**II.3.1.1** Affaissement au mini cône (MBE)…….. …… 61
**II.3.1.2** Maniabilité LCL……..... 61
**II .3.1.3** Masse volumique apparente ..... 62
**II.3.1.4.** Temps de prise du ciment…… 62
**II .3. 2** Essai de caractérisation à l'état durci…….. 62
**II.3.2.1** La conductivité thermique ..... 62
**II.3.2.2** Résistance à la compression ..... 63

**II.3.2.3** Resistance à la flexion ……. 63
**II.3.2.4** Analyse thermogravimétrie …… 63

# Chapitre III RESULTATS ET INTERPRETATION

**III.1** Introduction …… 65
**III.2** Caractérisation de diatomite……... 65
**III.2.1** Les compositions chimiques…… 65
**III.2.2** Masse volumique …… 67
**III.2.3** Granulométrie……. 68
**III .2.4** Surface spécifique…… 69
**III.3** caractérisation des mélanges à l'état frais…….. 70
**III.3.1** Besoin en Eau des mortiers formulés sans SP……..... 70
**III .3.2** Besoin en superplastifiant des mortiers formulés avec Eau/Liant constant… 71
**III .3.3** Evolution du temps de prise……... 72
**III .4** Caractérisation mélange à l'état durci……. 76
**III .4.1** Résistance à la compression des pates du ciment avec superplastifiant……. 76
**III .4.2** Résistance à la compression des pates du ciment sans superplastifiant…….. 79
**III .4.3** Estimation de la pouzzolanicité par l'indice d'activité de résistance…….. 81
**III.4.4** Estimation de la pouzzolanicité par l'analyse thermogravimétrie……... 84
**III.4.4.1** Effet de la calcination de la diatomite pour différent dosage…….. 85
**III.4.4.2** Effet du dosage de la diatomite brute et calcinée…… 87
**III.4.5** La conductivité thermique …….. 90
**III.4.5.1** Conductivité thermique mortier chaux- diatomite…….. 90
**III.4.5.2** Conductivité thermique diatomite mortier chaux- poudre aluminium gypse.. 91

**Conclusion générale**……. 92
**Recommandation**…….. 93
**Référence bibliographique**…….. 94
**Annexe** ……..... 97

# Liste des tableaux

## Chapitre I : Revue bibliographique


| | | |
|---|---|---|
| **Tableau I-1** | Gisement de diatomite d'origine marine | 22 |
| **Tableau I .2** | Gisement de diatomite d'origine volcanique | 22 |
| **Tableau I.3** | Les propriétés physiques des diatomites brut et calciné | 23 |
| **Tableau I.4** | Composition chimique de différentes diatomites (% en masse). | 24 |
| **Tableau I.5** | production mondial de la diatomite (KT) | 25 |
| **Tableau I .6** | Domaine d'utilisation de la diatomite en fonction des pays. | 26 |
| **Tableau I.7** | Principaux gisements de diatomite d'Algérie. | 29 |
| **Tableau I.8** | Composition chimique de diatomite dans différent site en Algérie | 30 |
| **Tableau I.9** | Production et réserve nationale de la diatomite (KT) | 31 |
| **Tableau I.10** | décrit la structure d'un gisement d'une mine souterraine | 34 |
| **Tableau I.11** | le début et la fin de prise de pâtes de ciment avec différentes E\C rations et niveaux de remplacement de diatomite | 40 |


## Chapitre II : Matériaux et Essais


| | | |
|---|---|---|
| **Tableau II.1** | Compositions chimique et minéralogique du ciment CEM II 42.5 R | 52 |
| **Tableau II.2** | caractéristique physique du sable | 53 |
| **Tableau II.3** | Caractéristiques du superplastifiant MEDAPLAST.3 SP40 | 53 |
| **Tableau II.4** | caractérisation de poudre aluminium | 54 |
| **Tableau II.5** | Caractérisation de gypse. | 54 |
| **Tableau II. 6** | Propriétés physique et chimiques de la chaux de Saida | 54 |
| **Tableau II.7** | la composition chimique et les caractéristiques physiques composition chimique de cette diatomite. | 55 |
| **Tableau II.8** | Compositions chimiques de la diatomite calcinée à 500, 700°, 800°C, 1000°C | 57 |
| **Tableau II.9** | Etape malaxage des pâte de ciments avec et sans superplastifiant | 58 |
| **TableauII.10** | Composition mortier léger | 60 |
| **Tableau II.11** | étape malaxage de mortier légers | 60 |
| **Tableau II.12** | Essais réalisées sur Mortiers et pâtes de ciment | 61 |


.

# Chapitre III : Résultats et Interprétation


| | | |
|---|---|---|
| **Tableau III.1** | Les composition chimiques du diatomite calcinée | 65 |
| **Tableau III.2** | Les propriétés physiques de la diatomite | 66 |
| **Tableau III.3** | Analyse granulaire de poudre diatomite calciné | 69 |
| **Tableau III .4** | début et la fin de prise de pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite brute. | 75 |
| **Tableau III.5** | début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 200° | 75 |
| **Tableau III .6** | début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 400° | 75 |
| **Tableau III .7** | début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 600° | 75 |
| **Tableau III .8** | début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 800° | 76 |
| **Tableau III .9** | début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 1000° | 76 |

# Liste des figures

## Chapitre I : Revue bibliographique


| | | |
|---|---|---|
| **Figure I-1** | différents types de microstructures de diatomites | 21 |
| **Figure I-2:** | les différent forme de diatomite | 21 |
| **Figure I.3** | Situation géographique du bassin du Bas Chéllif et esquisse paléogeographique de la mer ~ diatomites | 28 |
| **Figure I.4** | Carte géographique de carrière de Talahait | 29 |
| **Figure I.5** | chemin de production la daitomite | 32 |
| **Figure I.6** | site de l'extraction de diatomite | 33 |
| **Figure I .7** | mode de exploitation de gisement d'une mine souterraine | 34 |
| **Figure I.8** | Gisement de Tahalait (Kieselguhr) | 34 |
| **Figure I.9** | Pelle chargeuse et camion pour transport | 35 |
| **Figure I.10** | débits de diamètre des pâtes de ciment par rapport aux niveaux de remplacement des diatomites | 38 |
| **Figure I.11** | Viscosité de la pâte de ciment par rapport aux niveaux de remplacement du Diatomite | 38 |
| **Figure I.12** | [a, b] Mortier avec E/C=0,48 [c, d] Mortier avec E/C= 0,53 [e, f] Mortier avec E/C=0,48 . [g, h] mortier avec E/C=0,53. | 39 |
| **Figure I.13** | la variation de début et la fin de prise en fonction du rapport des Diatomites | 39 |
| **Figure I.14** | Résistance à la compression des échantillons de mortier contenant différents contenu de diatomite en poudre à différents âges | 42 |
| **Figure I.15** | Développement de la résistance à la compression | 43 |
| **Figure I .16** | la résistance a la compression | 43 |
| **Figure I.17** | Effet du dosage de la diatomite sur la resistance à la compression[zahalkova2016 ] | 44 |
| **Figure I.18** | Effet du superplastifiant sur la résistance à la compression | 44 |
| **Figure I.19** | Effet du superplastifiant sur la résistance à la compression [Abrao2019] stamakis | 45 |
| **Figure I.20** | ajout d'eau nécessaire pour obtenir un débit égal | 46 |

| | | |
|---|---|---|
| **Figure I.21** | Résistance à la compression du mortier pour la diatomite waikaukau - tous les mélanges utilisant un ajustement à l'eau pour une ouvrabilité égale | 46 |
| **Figure I.22** | Résistance à la compression du mortier pour la diatomite Ngakuru - tous les mélanges utilisant l'ajustement de l'eau pour une ouvrabilité égale | 46 |
| **Figure I.23** | 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 | 47 |
| **Figure I.24** | 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 de500m²/kg | 48 |
| **Figure I.25** | Mortiers de résistance à la compression avec diatomée originale | 48 |
| **Figure I.26** | résistance à la traction | 49 |
| **Figure I .27** | Résistance à la flexion Zahalkova 2016 et Degirmen2009 | 49 |


# Chapitre II : Matériaux et Essais


| | | |
|---|---|---|
| **Figure II.1** | Matériaux utilisés | 51 |
| **Figure II-2** | Distribution granulaire du ciment | 52 |
| **Figure II.3** | Distribution granulaire du sable 0/2) | 53 |
| **Figure II.4** | gypse chaux et poudre aluminium | 54 |
| **Figure II.5** | échantillon poudre de diatomite. | 55 |
| **Figure II.6** | courbe de l'analyse granulométrique de la diatomite brute | 55 |
| **Figure II.7** | Formulation et variables étudiée | 56 |
| **Figure II.8** | Procédure de malaxage des pâtes de ciment sans superplastifiant | 59 |
| **Figure II.9** | Procédure de malaxage des pâtes de ciment avec superplastifiant | 59 |
| **Figure II.10** | Les éprouvettes de mortier Leger | 60 |
| **Figure II.11** | les différent essaies réalisé | 62 |
| **Figure II.12** | Essai conductivité thermique CT | 62 |
| **Figure II. 13** | Essai de compression sur cube de (2x2x2) cm | 63 |
| **Figure II. 14** | l'éprouvette après la compression | 63 |

# Chapitre III : Résultats et Interprétation


| | | |
|---|---|---|
| **Figure III.1** | Aspect générale diatomite brute et calcinée | 66 |
| **Figure III.2** | La courbe masse volumique apparente | 67 |
| **Figure III .3** | La courbe masse volumique absolue | 67 |
| **Figure III.4** | La courbe sédimentométrie | 68 |
| **Figure III . 5** | la surface spécifique de Blaine | 69 |
| **Figure III . 6** | la surface spécifique par essai VB | 69 |
| **Figures III . 7** | Evolution de la demande en eau en fonction du traitement et du dosage de diatomite (brute,200°,400°,600°,800°,1000°) | 70 |
| **Figure III .8** | Evolution de la demande en superplastifiant en fonction du traitement et du dosage de diatomite (brute , 200°,400°,600°,800°,1000°) | 71 |
| **Figure III .9** | Effet de dosage de diatomite brute sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment | 73 |
| **Figure III .10** | Effet de dosage de diatomite calcinée a 200° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment | 73 |
| **Figure III .11** | Effet de dosage de diatomite calciner a 400° sur le début et la finde prise des pâtes de ciment | 73 |
| **Figure III .12** | Effet de dosage de diatomite calciner a 600° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment | 74 |
| **Figure III .13** | Effet de dosage de diatomite calciner a 800° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment | 74 |
| **Figure III .14** | Effet de dosage de diatomite calciner a 1000° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment | 74 |
| **Figure III . 15** | influence de l'introduction du superplastifiant et du dosage des diatomites calcinées ou non sur l'évolution de la résistance à la compression | 77 |
| **Figure III . 16** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 200°C | 77 |
| **Figure III . 17** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 400°C | 78 |
| **Figure III . 18** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 600°C | 78 |
| **Figure III . 19** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 800°C | 78 |
| **Figure III. 20** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 1000°C | 79 |
| **Figure III . 21** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite brute | 79 |
| **Figure III . 22** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 200°C | 80 |
| **Figure III .23** | Résistance a la compression des pates de ciment avec | 80 |

| | | |
|---|---|---|
| | diatomite calciné 400°C | |
| **Figure III .24** | 23 Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 600°C | 80 |
| **Figure III . 25** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 800°C | 81 |
| **Figure III .26** | Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 1000°C | 81 |
| **Figure III . 27** | Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 5%diatomite. | 82 |
| **Figure III . 28** | Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 10%diatomite. | 82 |
| **Figure III .29** | Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 15%diatomite. | 83 |
| **Figure III .30** | Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 20%diatomite. | 83 |
| **Figure III . 31** | Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 15%diatomite. | 84 |
| **Figure III .32** | Allure de la courbe d'analyse thermogravimétrique des pâtes de ciment avec diatomite calcinée ( pour un dosage de 10% en diatomite) | 85 |
| **Figure III .33** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour 5% de diatomite | 86 |
| **Figure III. 34** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour 10% de diatomite | 86 |
| **Figure III. 35** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour 15% de diatomite | 86 |
| **Figure III 36** | quantité de chaux libre des pâtes de ciment pour 20% de diatomite | 87 |
| **Figure III .37** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite brute | 87 |
| **Figure III .38** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 200°C | 88 |
| **Figure III. 39** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 400°C | 88 |
| **Figure III. 40** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 600°C | 88 |
| **Figure III. 41** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 800°C | 89 |
| **Figure III. 42** | quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 1000°C | 89 |
| **Figure III. 43** | Effet de la calcination de la diatomite et de la chaux sur la conductivité thermique des mortiers avec 50% de ciment. | 90 |
| **Figure III. 44** | Effet de la calcination de la diatomite sur la conductivité thermique des mortiers de ciment et de chaux gypse et Aluminium | 91 |

# Liste des Notation

| | |
|---|---|
| **CPJ** | Ciment **- CEM II/B 42,5** |
| **λ** | La conductivité thermique |
| **C+C** | ciment +chaux |
| **C+S** | ciment +sable |
| **E/L** | Eau /Liant |
| **ATG** | analyse thermogravimétrie |
| **VB** | valeur de bleu Mytilène |
| **RC** | La résistance a compression. |
| **SP** | Superplastifiant |
| **IRTF** | infrarouge |
| **ﻯ** | masse volumique apparent |
| **IAR** | l'indice de résistance |
| **CSH** | silicate de calcium hydraté |
| **CH** | portlandite |
| **Ca(OH)2** | d'hydroxyde de calcium(portlandite) |
| **SiO2nH2O** | dioxyde de silicium |
| **PAF** | perte au feu |
| **SiO2** | dioxyde de silicium |
| **CaO** | oxyde de calcium |
| **$AL2O_3$** | l'oxyde Aluminium |
| **Fe2O3** | oxyde de fer |
| **MgO** | oxyde de magnésium |
| **DE** | diatomite |
| **Na2O** | oxyde de sodium |
| **K2O** | oxyde de potassium |
| **TiO2** | oxyde de titane |
| **P2O5** | oxyde de phosphore |
| **SO3** | trioxyde de soufre |
| **C3A** | aluminate tricalcique |
| **C3S** | silicate tricalcique |
| **$C_2s$** | silicate bi calcique |
| **C4AF** | aluminoferrite tricalcique |
| **$CaCO_3$** | le carbonate de calcium |
| **PC** | Ciment ordinaire |
| **SF** | Fumé de silice |
| **H2O** | L'eau |
| **AFT , AFM** | ettringite |
| **CaSO4** | Sulfate de calcuim |

**Abréviations**

ENOF **:**Entreprise national des produits miniers non ferreux et des utiles .spa

Lafarge : entreprise de matériaux de construction

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

D'une part, la diatomite peut être introduite dans le procédé de fabrication du ciment, afin de réduire le coût de la production des ciments et de limiter le dégagement de dioxyde de carbone $CO_2$ qui pollue simultanément l'air et l'environnement.

D'autre part, la diatomite peut remplacer partiellement le ciment dans la confection des bétons, des briques et des mortiers de revêtement, afin de modifier leurs propriétés physiques et mécaniques.

## Argumentation et But de la Recherche

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 du béton 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 bétons légers, il peut s'ouvrir une voie pour exploiter la diatomite dans la fabrication de ces bétons ou dans la fabrication des produits d'isolation tel que les mortiers ou les briques réfractaires ; ce qui 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 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 type de traitement et quel dosage de la diatomite qui assure des résistances mécaniques et des performances thermiques aux divers matériaux.

Tant dans la fabrication des ciments où les cimenteries peuvent l'utiliser comme un ajout garantissant la fabrication d'un produit écologique et économique. Tant dans la formulation des bétons à haute performance . Tant dans la fabrication des produits à un niveau d'isolation thermique élevé, grâce à l'exploitation de la structure poreuse de la diatomite.

Aussi, l'objectif de ce travail est d'illustrer la valeur économique de l'emploi de la diatomite. Ceci, s'élucide par sa friabilité et sa disponibilité, et par le niveau de confort qui l'assure et par le degré de gaspillage énorme en matière de consommation d'énergie qui peut l'éviter.

Tant dans la formulation des bétons à un niveau d'isolation thermique élevé qui permet d'assurer le confort et le gain d'éviter le gaspillage énorme en matière de consommation d'énergie. Ceci par l'exploitation de la structure poreuse de la diatomite.

Egalement, l'utilisation des bétons à base de diatomite donne des techniques novatrices pour préservation des monuments et des sites historiques.

**Plan de Travail**

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

Le premier chapitre est scindé en deux parties : la première est consacrée à la synthèse bibliographique sur la définition de la diatomite, les procédés de sa production, ses caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques. Tandis que, la seconde partie évalue l'effet du traitement par calcination de la diatomite, sur le comportement à l'état frais et durci des mortiers ainsi que sur leur comportement physique.

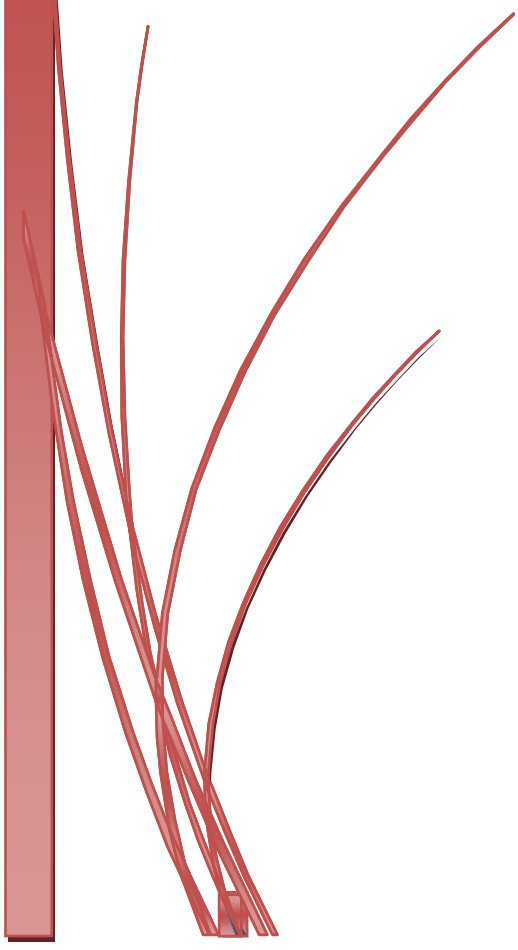
Le deuxième chapitre trace le programme expérimental. Il présente les différents matériaux utilisés et décrit la méthodologie des essais à effectuer pour déterminer les propriétés mécaniques, les caractéristiques physico-chimiques des mortiers.

Le troisième chapitre détaille les résultats expérimentaux en trois parties : la première présente les résultats de l'étude des propriétés mécaniques des mortiers formulés. La deuxième partie illustre le comportement physique de ces mortiers. Tandis que, la troisième présente les résultats de la réactivité pouzzolanique de la terre infusoire effectuée ( ATG, saturation de chaux).

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

# Chapitre I

# Revue Bibliographique



# I Introduction

La diatomite fait partie des roches et minéraux industriels que possèdent l'Algérie. Elle est composée principalement de la silice. La diatomite est relativement poreuse et elle peut être exploitée dans divers domaines.

## I .1.1 Définition de la diatomite

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse, lisse, friable, de couleur claire (blanche). Elle est typiquement légère et poreuse, elle est appelée dioxyde de silicium ($SiO_2$ $nH_2O$). Aussi, la diatomite est dite terre à diatomées, kieselguhr, terre infusoire, molar, farine fossile, silice fossile, ceyssatite, randannite, tripolite, poudre à polir ou terre tripoli.

La diatomite est d'origine organique et fossile. Elle est composée de silice hydratée amorphe, qui résulte du dépôt des coquilles fossilisées microscopiques d'anciennes algues unicellulaires, appelées diatomées la figure I-1 représente la microstructures de diatomites .

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 la Figure I-2: représente les différent forme de diatomite . [1]

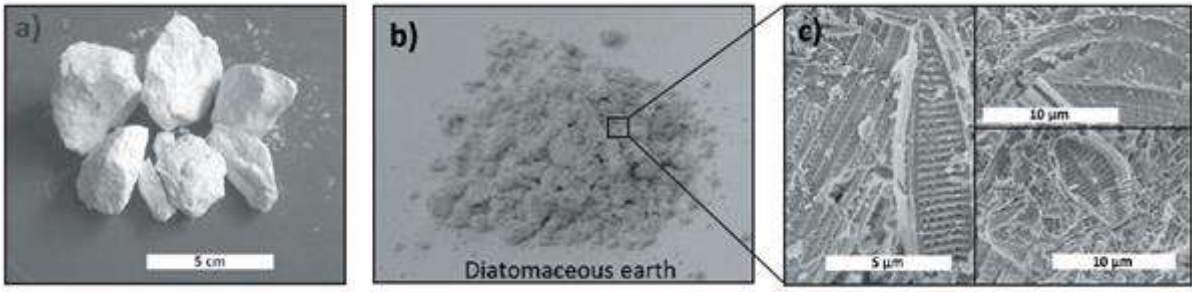



**Figure I-1 : différents types de microstructures de diatomites**



**Figure I .2 les différentes formes de diatomite**

### I.1.2 Formation et gisements de diatomite

Les gisements de diatomite se forment, par une accumulation de produits organiques, surtout les carapaces siliceuses de diatomées, depuis la période tertiaire, notamment Miocène et Pliocène (9 à 5 millions d'années) représente dans le Tableau I-1. Généralement, la diatomite se trouve dans des gisements marins ou gisements continentaux lacustres.

- Les gisements marins : sont situés dans des bassins épicontinentaux, de faible profondeur, et au grand large. En effet, le diatomite se forme dans des conditions exogènes, elle est issue des roches sédimentaires chimiques ou biochimiques qui se sont formées dans les lacs, dans les zones de remontée des courants froids (exemple de la Californie) et dans les milieux marins. [2]

**Tableau I-1 : Gisement de diatomite d'origine marine**

| Zone | Période |
|---|---|
| Danemark | Paléocène -éocène |
| Pologne | Oligo-miocène |
| Algérie | miocène |
| Etat unis (maryland, Virginia) | miocène |
| Espagne, Corée du sud, Chili, Nouvelle zelande, Indonesie | tertiaires |

Les gisements continentaux lacustres, sont situé dans un contexte volcanique (tel que les dépôts miocènes du massif central France) le Tableau I .2 représente Gisement de diatomite d'origine volcanique

**Tableau I .2 : Gisement de diatomite d'origine volcanique**

| Zone | Période |
|---|---|
| Etats unis (Nevada) | Bassins sédimentaires associés à des chaînes de montagnes |
| Etats unis (terrebonne, Oregon) | Vallées barrées par formation volcanique. |
| Etats unis (trout creek mountains, Oregon) | Dépression |
| France | Cratère hydro-magmatique |
| Brésil, Australie, philippine | Marais, ou étang peu profond |
| Allemagne, Danemark | Environnement Glaciaires par |

## I .1.3 Propriétés des diatomites

### A- Propriete physique:

La genèse de la diatomite lui confère des caractéristiques particulières telles qu'un faible poids, une grande porosité, un grand volume des pores et une capacité d'adsorption élevée [4] ,[ 5]. Les propriétés de la diatomite peuvent être variées par des traitements par calcination ou par activation le Tableau I.3 représente les propriétés physiques des diatomites brut et calciné.

**Tableau I.3 les propriétés physiques des diatomites brut et calciné**

| | **naturel** | **calciné** | **Activée (fluxé)** |
|---|---|---|---|
| Aspect macroscopique | Roche friable | poudre | poudre |
| Couleur | Blanche, grise | Rose, beige rosée, brune | blanche |
| 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 ($g/cm^3$) | 0.86 | 0.8à0.33 | |
| 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 |
| Dureté (Mohs) 1.5 ( en masse) | 4.5-6 (en particules) | | |
| 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 | bonne | |
| Ph | 6-9 | 7-11 | 6-10 |
| PAF (%) | 1 | | |

B-**Propriété chimique** :

la diatomée est compose généralement de silice amorphe contenant un peu des matériaux microcristallins le tableau I.4 représente la composition chimique de différentes diatomites (% en masse) .[6]

**Tableau I.4 : Composition chimique de différentes diatomites (% en masse).**

| Composant | Pays producteurs de diatomite | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Algérie | Portugal | Espagne | Etats - Unis | France | Danemark | Allemagne | Chine |
| $SiO_2$ | 76.13 | 85.6 | 88.6 | 89.7 | 91.6 | 67.8 | 79.72 | 90.07 |
| CaO | 12.9 | 0.04 | 3 | 0.3 | 0.2 | 1.35 | 4.17 | 0.39 |
| $AL_2O$ | 3.67 | 6.37 | 0.62 | 3.72 | 1.5 | 10.3 | 4.52 | 1.98 |
| $Fe_2O_3$ | 0.07 | 1.02 | 0.2 | 1.09 | 2.2 | 6.85 | 4.33 | 0.67 |
| MgO | 2.05 | 0.27 | 0.81 | 0.55 | 0.3 | 1.64 | 0.98 | 0.28 |
| $Na_2O$ | 1.32 | 0.14 | 0.5 | 0.31 | - | 0.46 | 0.38 | 0.22 |
| $K_2O$ | 0.01 | 0.95 | 0.39 | 0.41 | - | 1.47 | 1.16 | 0.35 |
| $TiO_2$ | 0.57 | 0.25 | 0.05 | 0.1 | - | 1.21 | 0.34 | 0.09 |
| $P_2O_5$ | - | 0.01 | - | 0.1 | - | 0.21 | 0.63 | 0.06 |
| $SO_3$ | - | 0.04 | - | - | - | - | - | - |
| P.A.F | - | - | 5.2 | 3.7 | 3.4 | 7.91 | 2.39 | 6.3 |

## I .1 .4 Reserve et Production mondiale de la diatomite

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 le Tableau I.5 représente la production mondial de la diatomite (KT) .

Les autres producteurs importants sont la Chine (420 KT ), le Danemark (325KT), le Japon (100 KT). Mexique (85 KT) et la France (75 KT). [7]

**Tableau I.5: production mondial de la diatomite (KT)**

| 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 |
| Chili | 23 | 27 | 31 | 26 | 26 |
| Chine | 420 | 420 | 420 | 420 | 420 |
| 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 |
| Italie | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Japon | 100 | 90 | 90 | 100 | 100 |
| Mexique | 85 | 87 | 88 | 90 | 90 |
| Pérou | 94 | 125 | 151 | 121 | 120 |
| 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 .1.5 Domaines d'utilisation

Les principales applications de la diatomite dans le monde sont en fonction de ses propriétés particulières et de la spécificité industrielles de chaque pays (Etats unies utilise 68% comme matériaux de filtration, tandis que la Russie utilise 96% dans l'isolation thermique)le Tableau I .6 représente la domaine d'utilisation de la diatomite en fonction des pays. La diatomite est utilisée comme matière première très importante dans divers domaines [8] :

- **Matériau de filtration de divers liquides** : la structure alvéolaire, la forte porosité et la résistance chimique permettent d'utiliser la diatomite dans l'industrie agro-alimentaires (huiles végétales et minérale, les jus de fruits), industrie de traitement des eaux (potables, usées ou industrielles), pharmaceutique (élimination particules colloïdales bactéries et virus), médical (filtration du plasma sanguin), etc.
- **Comme charge :** grâce à la granularité fine, l'inertie chimique, la faible densité, la surface spécifique élevée, son abrasivité, sa capacité d'absorption, sa température de

fusion, la diatomite devient un matériau important pour fabriquer les charge pour fabrication de peintures, pesticides, etc.

- **Matériaux absorbants** : L'inertie chimique de la diatomite, sa surface spécifique élevée et sa capacité d'absorber jusqu'à trois fois son poids de liquide ((1g de diatomite absorbe plus de 2.5g d'eau)), permettent d'utiliser la diatomite comme un absorbant dans l'industrie alimentaire, chimique ou pétrolière. Elle est aussi utilisée dans protection de l'environnement (déversement liquide polluant) et dans les litières pour animaux domestiques.
- **Industrie d'isolation** : par sa très faible conductibilité thermique, Il est utilisé pour l'isolation thermique des structures, des équipements industriels (réservoirs d'électrolyse 'extraction aluminum), fours de fusion, chaudières, canalisations, etc.) avec des températures de surface isolées jusqu'à 950 ° C.
- **Divers types d'industrie** : Métallurgie, Génie énergétique, Industries du verre, du ciment et de la chimie du pétrole. Industrie photovoltaïque pour la fabrication de l'énergie solaire en domaine de construction, la diatomite brute ou traitée 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 dans mortier de remplissage ou brique dans l'isolation thermique et acoustique des construction.

**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 des caractéristiques du béton durci, à travers propriétés pouzzolaniques de la diatomite la densification de la microstructure du béton.

**Tableau I .6: Domaine d'utilisation de la diatomite en fonction des pays.**

| Utilisation | | Pays |
|---|---|---|
| Filtration des liquides (nulle calcaire et faible fer) (diatomite grossière) (Epuration / récupération) (bactéries, protozoaires) | Produit Agro-Alimentaire (huiles, boisson, sucrerie, ) | Algérie, Argentine, Australie, Brésil, Chine, Chili, Corée de sud, Danemark, Espagne, Etats-Unis, France, Italie, Iran, Islande, Japon, Kenya, Maroc, Mexique, Turquie, Roumanie |
| | Produit Pharmaceutique ( AL faible) | |
| | Chimiques | |
| | Epuration des eaux (potables, industrielles, piscine, ) | |
| Charges (diatomite fine) | Peinture (pigment, perméabilité à la vapeur, résistance abrasion, séchage) Vernis, encres) | Algérie, Argentine, Australie, Brésil, Chili, Canada, Corée de sud, Danemark, Espagne, Etats-Unis, France, Islande, Kenya, Mexique, Roumanie, |
| | Plastique (anti-adhérent, finition de surface, résistance à la chaleur et à l'eau, , | |
| | Caoutchouc et pneumatique (allégement, résistance usure, acide ) | |
| | Papier et cartons (décor,à polir : papier verre) , revêtement, abrasif ) | |
| | Pharmacie, cosmétique(Pate dentifrice, pour empreinte dentaire,) | |
| | Béton et mortier (plasticité, homogénéité, durcissement, réduction ressuage et efflorescence, adhérence, étanchéité | |
| | Chimique (catalyseur, agent stabilisant) | |
| | Industrie cimentière | |
| | Produits asphaltés (diminue ressuage, fissure variation brusque de température, résistance au chocs et à la rupture () maïzena, , ) | |
| | Résine ( couleur) | |
| industrie pétrolière | Catalyseur pour Raffinage, Alléger Lait de cimentation puits de pétrole | Argentine |
| Produit d'Isolations thermique | Brique, céramique, chaux-silice (verrerie, cimenterie, industrie céramique, incinérateur, installation chauffage) | Australie, Canada, Chine, Danemark, Espagne, France, Hongrie, Kenya, Italie, Roumanie, |
| | sidérurgie, métallurgie (contre chute température et oxydation des bains d'acier) | |
| Absorbant, | huile, graisse | Australie, Canada, Danemark, Etats-Unis, France, Hongrie, Italie, |
| | Résine revêtement routier | |
| | Granule pour litière pour animaux | |
| Industrie du bâtiment, | fabrication du verre Etanchéité ( diatomite-bentonite) | Japon, Roumanie, Hongrie, Espagne, France, |
| Agriculture | Engrais (fertilisant, dilution produit toxique) | Danemark, Espagne, Etats-Unis, France, Hongrie, |
| Pesticide | | Danemark |
| Nourriture animal | (support en vitamines | Danemark, Iran, Roumanie |

## I.1 .6 Méthode d'Exploitation et de la diatomite

Les gisements de diatomite sont généralement exploités à ciel ouvert. Si nécessaire, le minerai brut extrait est séché et broyé. La diatomite séchée est recueillie dans des cyclones et introduite dans des séparateurs à air pour éliminer les matières grossières et les impuretés.

La calcination et la calcination par flux sont utilisées pour volatiliser thermiquement les matières organiques et oxyder le fer. La calcination est également utilisée pour augmenter la dureté de la diatomite, la densité et l'indice de réfraction.

La fusion de petites particules de diatomite en amas peut également être réalisée par calcination, ce qui entraîne une augmentation de la taille et du volume des pores. Les produits à base de diatomite sont vendus sous différentes qualités de poudres calcinées.[9]

## I .2 Etat de la Diatomite en Algérie

### I .2.1 Situation géographique des gisements de diatomites

L'Algérie est un pays riche en gisement de diatomite. Les principaux gisements sont surtout localisés dans le Nord-Ouest. Ces gisement sont l'étendue des gisements de la méditerranée. Représente dans la Figure I.3 et le Tableau I.7

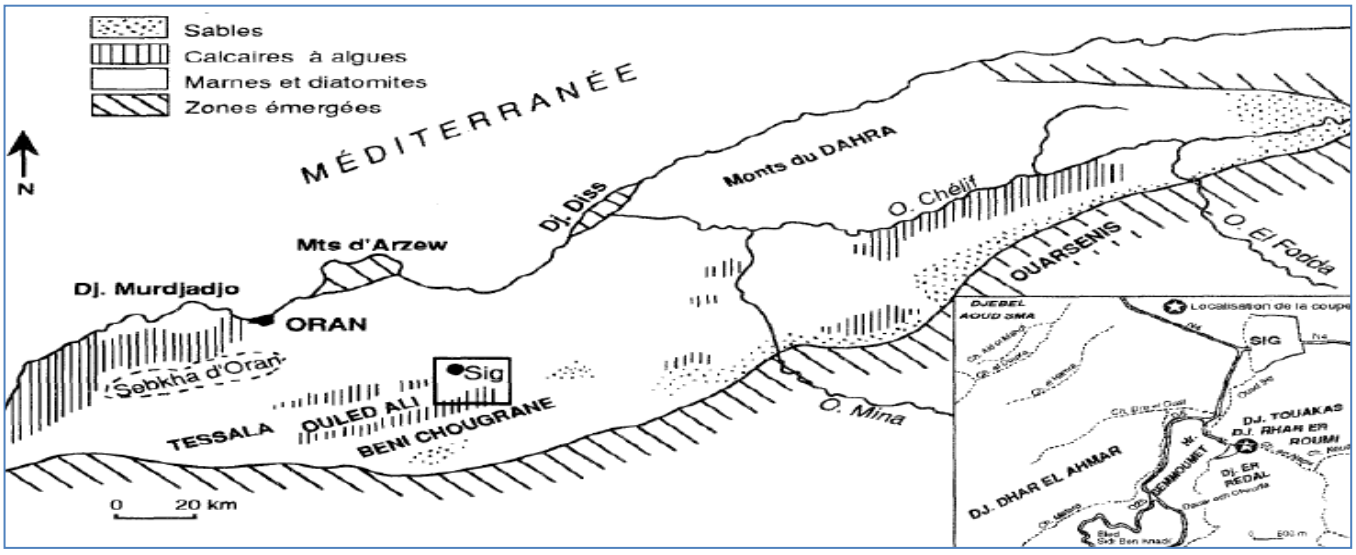



**Figure I.3 - Situation géographique du bassin du Bas Chéllif et esquisse paléogéographique de la mer ~ diatomites (perrodan1957)**

**Tableau I.7 : Principaux gisements de diatomite d'Algérie.**

| Gisement (wilaya) | Accès desserte | Géologie | Réserve, Conditions de gisement |
|---|---|---|---|
| **Noumène (Tlemcen)** | W108: 4km<br>Port:<br>Ghazaouet : 40km | Diatomite avec marnes (Miocène) | Très importantes, faible recouvrement |
| **Grimez-Secteurs chadlia et Tahalait-(Mascara)** | Prox. RN4- RN6<br>Usine: 16km<br><br>Port: Ghazaouet:50km | Miocène<br><br>terminal | 1 Mt exploitables<br>Réserves géologiques: 6Mt (5 à 7 couches de0,5 à 4 m d'épaisseur) |
| **Cadeau (mascara)** | Prox. RN13 | Miocène terminal | 8 couches de 0,4 à 4,5m d'épaisseur,<br>Gisement à réévaluer |
| **AbdelMalek (ex Ouillis) Ramdane Mostaganem** | Prox, RN11<br>Port:<br><br>Mostaganem : 35km | Miocène supérieur | Environ 15 couches de 0,2 à 1m sur 20m d'épaisseur (surface 3 ha, peu de recouvrement)<br>Gisement à réévaluer |
| **Beni zagouani (Mostaganem)** | Prox. RN11 | Miocène terminal | Réserves 0,36 Mt |
| **Djebel Meni (Mostaganem)** | Prox. RN11 | Miocène | Couche de 1,5m d'épaisseur |
| **Guellal (Mostaganem et Relizane)** | Prox.W8A | Miocène terminal | Couches de 0,5 m à 2 m d'épaisseur |

La carrière de diatomite de Tahalait, est située à 5 km au Sud-Est de la ville de Sig (Willaya de Mascara), à 50 km de la ville d'Oran et à 40 km de la ville de Mascara la Figure I.4 représente la carte géographique de carrière de Tahalait . [10]

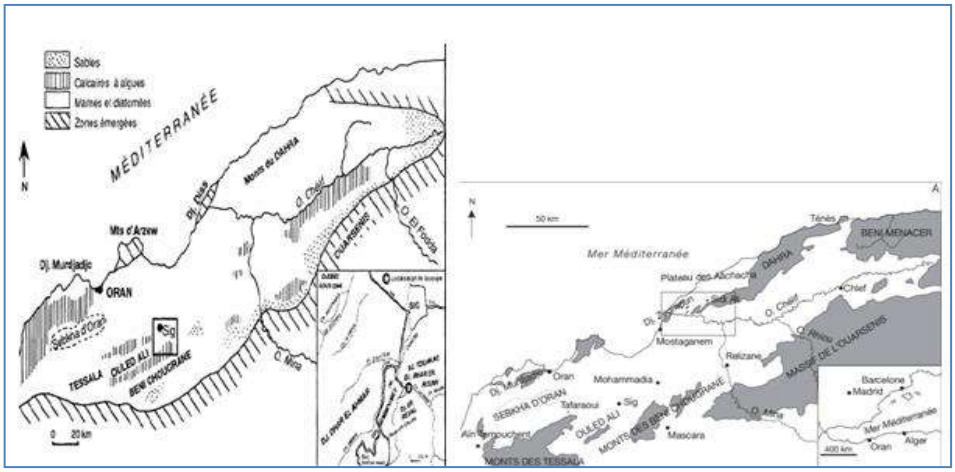



**Figure I.4 Carte géographique de carrière de Tahalait**

### I .2.2 Géologie et structure du gisement

Une vaste étendue de territoire bondant la méditerranée depuis l'ouest d'Oran jusqu'au sud de Rabelais (ancienne mer sahélienne), contient les gisements de très grande richesse. L'épaisseur des couches varie entre 20 et 50 mètre, Ces couches de diatomées marines sont constituées par une roche très riche en silice (Ouilis, 90%) [11]

Le gisement de la diatomite se présent sous forme d'un cône à pente lisses dont le sommet est pratiquement plat. La partie la plus haute est de 583 m et la plus basse est de 529 m, avec une couverture d'âge quaternaire constituée d'une terre de couleur noirâtre composé par des débris des arbre et avec de fragment des roches volcanique que varie de 0,0 à 1,5 m avec une moyenne de 0,5 m sur l'ensemble du gisement. La puissance moyenne de la couverture est de 0,5 m et celle de l'assise utile est de 25 m .

**Tableau I.8 Composition chimique de diatomite dans différent site en Algérie**

| Gisement(wilaya) | Composition,qualité | Utilisations(Production) |
|---|---|---|
| **Noumène (Tlemcen)** | SiO2 57,5%<br>Al2O3 6,0%<br>Fe2O3 2,3%<br>CaO 13,34%<br>MgO 2,3%<br>K2O 0,87% | Charge et adsorbants |
| **Grimez-secteurs chadlia et Tahalait-(Mascara)** | SiO2 59,86%<br>Al2O3 3,32%<br>Fe2O3 1,5%<br>CaO 12,8%<br>MgO 4,73% | Filtration,<br>Charge et adsorbants<br>(production DIATAL) |
| **Cadeau (mascara)** | Qualité moyenne | Charge, ciment |
| **AbdelMalek (ex Ouillis) Ramdane Mostaganem** | SiO2>80%<br>Peu carbonatée | Charge, adsorbant, ciment.<br><br>Exploitation arrêtée |
| **Beni zagouani (Mostaganem)** | | Charge, adsorbant, ciment |
| **Djebel Meni (Mostaganem)** | Peu carbonatée, | Charge, adsorbant, ciment |
| **Guellal (Mostaganem etRelizane)** | SiO2 61,6%<br>Al2O3 3,5%<br>Fe2O3 2%<br>CaO 13,3%<br>MgO 0,96%<br>K2O 0,6% | Charge, adsorbant, ciment |

## I .2.3 Reserve et production Locale

La diatomite est produite, par l'entreprise publique **SPA DIATAL**, filiale du groupe de l'entreprise nationale des produits non-ferreux **(ENOF)**, qui exploite le gisement de diatomée localisé à Sig dans la wilaya de Mascara. La production de kieselguhr pour l'année en **2007,** a atteint **1 902 tonnes**.

Le graphique ci-dessous montre que la tendance de la production de diatomite.

Les réserves cumulées de ces gisements sont estimées à près de 7.056.589 tonnes

La capacité de production est d'environ 10000 tonnes par an, dont 2000 tonnes exportées et le reste servira au besoin du marché national. Les réserves géologiques sont estimées à 6 500 000 tonnes.[12]

Production et réserve nationale de la diatomite sont présentées dans le Tableau I.10

**Tableau I.9 : production et réserve nationale de la diatomite (KT)**

| ANNEE | Production | réserves |
|---|---|---|
| **2005** | 1,460 | 1,814 |
| **2006** | 1,800 | 1,800 |
| **2007** | 1,000 | 1,902 |
| **2008** | 1,668 | - |
| **2009** | 1,896 | - |
| **2010** | 2,104 | - |
| **2011** | 2,132 | 2,132 |
| **2012** | 2,398 | 2,137 |
| **2013** | 2,224 | 2,007 |
| **2014** | 2,426 | 2,415 |
| **2015** | 2,360 | 2,359 |
| **2016** | 2,500 | - |

## I .2.4 Evaluation économique de la diatomite

La valeur unitaire de la diatomite varie en fonction de son utilisation finale. Par exemple, en, 2013, La diatomite utilisée en tant qu'agrégat léger était vendue au prix de 7$ /T , mais a été vendu à un prix aussi élevé que 10 000 $/T de la diatomite pour une utilisation plus spécifique tel que dans la fabrication des produits d'art, de cosmétiques ou les applications biomédicales. Tandis que, la diatomite de qualité filtrante avait une valeur unitaire moyenne de 384 $/T.

Les ressources de la diatomite brute en semblent adéquates dans un avenir prévisible. La Chine occupe le deuxième rang mondial dans les réserves de diatomite avec près de 2 milliards de tonnes de réserves totales

Cependant, les coûts de transport peuvent encourager le développement de sources de matériaux plus proches des marchés.

Les ressources locales et le développement économique diffèrent selon les pays, de sorte que leur consommation et l'application de diatomite diffère également.

Cependant, la diatomite est maintenant largement appliquée comme support, adsorbant et adjuvant de filtration à haute valeur ajoutée.

## I .3 Exploitation et Production de la diatomite local

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. [13].

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. Le Figure I.5 représente chemin de production la diatomite

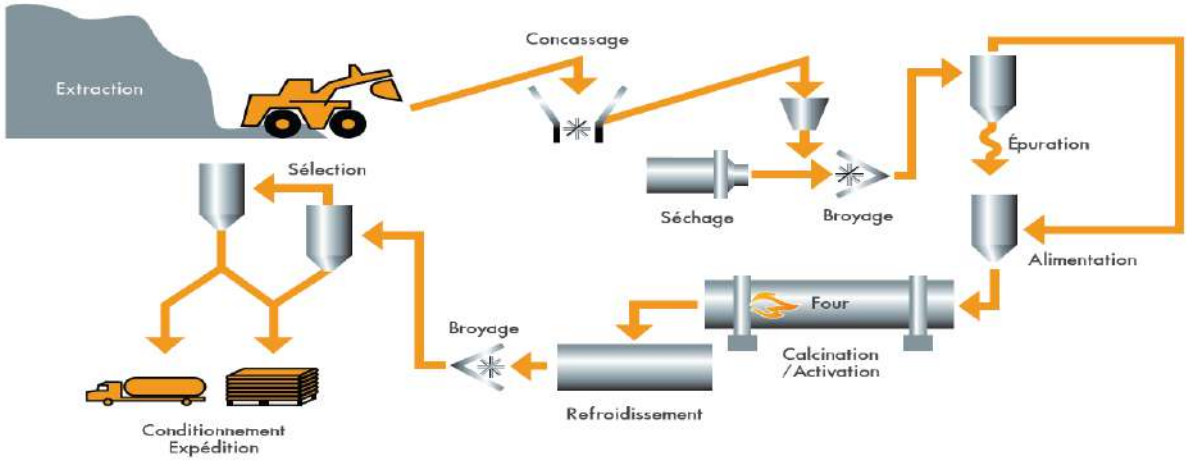



**Figure I.5 chemin de production la daitomite**

### I.3.1 Extraction des terres diatomées

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 [14] :

- **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). Figure I.6 représente le site de l'extraction de diatomite.



**Figure I.6 site de l'extraction de diatomite**

- **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. 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.11 illustre cela .

**Tableau I.10 décrit la structure d'un gisement d'une mine souterraine**

| | |
|---|---|
| **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 machinerie sous terre,<br>- 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 .7 :mode de exploitation de gisement d'une mine souterraine**

- **Gisement mixte**



**Figure I.8 : Gisement de Tahalait (Kieselguhr)**

### I .3.2 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 1.9 représente le Pell chargeuse et camion pour transport



**Figure I.9 : Pelle chargeuse et camion pour transport**

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

### I .3.3 Concassage

le concassage consiste à réduire la taille des morceaux de roche

### I .3.4 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 .3.5 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.

❖ **Procédé de calcination de la diatomite**

Il existe plusieurs de diatomites ; brute (séchée, broyée et épurée), calcinée avec ou sans fondant (blanche ou rose) et coproduit de fabrication (mélange de diatomite naturelle et d'impuretés). La cuisson ou la calcination de chaque type de diatomite nécessite plusieurs étapes :

- Procédé de fabrication de la diatomite brute .
- Procédé de fabrication de la diatomite calcinée .
- calcination sans fondant (rose).

La calcination est réalisé afin d'éliminer les matières organiques. Elle est réalisée dans un four rotatif à des températures comprises entre 850°C à 1 000° C. Elle permet d'obtenir un produit rosé (oxydation de fer), de très fine granularité de l'ordre de 5 à 15 µm avec une surface spécifique élevée qui atteint les 26$m^2$/g. Perméabilité ; entre 0.05 à 0.3 darcy.

❖ **Calcination activée ou avec fondant (blanche)**

La calcination activée est un traitement thermique qui accentue plus les modifications apportées par la calcination simple. En effet, elle permet d'avoir des perméabilités élevées qui atteint la valeur de 5 à 18 darcy et d'avoir une granularité grossière.

Ce traitement de calcination activée est effectué par ajout de 2 à 10 % d'un fondant (carbonate de sodium ou chlorure de sodium). L'opération s'effectue dans un four rotatif à une température de l'ordre de 1000°C.

En plus de la transformation des impuretés minérales (carbonates, sulfates, sulfures, ...) en composés insolubles (oxydes), ce traitement fournit une diatomite de couleur blanche, suite à l'inactivation des oxydes de fer (masquage) par leurs incorporations dans une phase vitreuse silicatée. Egalement, cette activation vitrifie la structure de la diatomite (fusion limitée à la surface des particules sans fusion du cœur) et engendre une importante agglomération des particules, ce qui entraine un produit perméable de taille de grains légèrement supérieure.

❖ **Broyage après calcination**

Après refroidissement, les produits calcinés doivent être soumis à un nouveau cycle de broyage et de sélection pneumatique afin d'obtenir des courbes granulométriques précises répondant aux diverses applications ( filtration, charges minérales, etc.).

### I .3.6 Conditionnement et Ensachage

Le conditionnement est la dernière étape de préparation des produits avant leur expédition chez les clients avec deux principaux modes d'expédition : sacs sur palettes et vrac en camions ou wagons-citernes.

## I.4 Hydratation du système Ciment –diatomite

### I.4.1 Hydratation du ciment

L'hydratation du ciment anhydre se produit lorsque les quatre principales phases anhydres rentre en contact avec l'eau. 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) | Equation.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 le 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 $C6(A,F)\bar{S}3H32$ se produise et ensuite elle se transforme en phase AFm $C4(A,F)\bar{S}H12$.

| | |
|---|---|
| $C_4AF + H_2O$:::::::::::::::::::::::::::::: $C_4AF.3CaSO_4.32H_2O$ | Equation. 1.5 |
| $C_4AF.3CaSO_4.32H_2O$ se transforme en:::::::::::: $C_4AF.CaSO_4.12H_2O$ | Equation. 1.6 |

### I.4.2 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 | Equation 1.5 |

## I .5 Propriétés de ciment -diatomite à l'état Frais

Les propriétés du béton a l'état frais sont reliées à l'exploitation et à la construction tandis que l'utilisation de la Terre de diatomées (DE) en remplacement partiel le ciment a une influence significative sur les propriétés a l'état frais des pâtes de ciment. Cet effet sera a maniabilité, ouvrabilité et le tempe de prise .

### I.5.1 Maniabilité et Ouvrabilité

Selon des études expérimentales (Ferraris) [15] Et (Wallevik, 2006) [16] il existe une relation entre le pourcentage d'introduction de la diatomite dans le béton frais et son ouvrabilité. En effet, l'augmentation du dosage en diatomite entraîne une perte de l'ouvrabilité. En effet, ils ont constaté une diminution du diamètre d'écoulement des bétons fabriqués avec diatomite. Ils ont attribué cette perte à la surface spécifique élevée, la structure poreuse et la nature absorbante de l'eau des particules de diatomite qui conduit à une teneur en eau plus faible dans les pâtes de ciment. La Figure I.10 représente débits de diamètre de pâtes de ciment par rapport aux niveaux de remplacement des diatomites

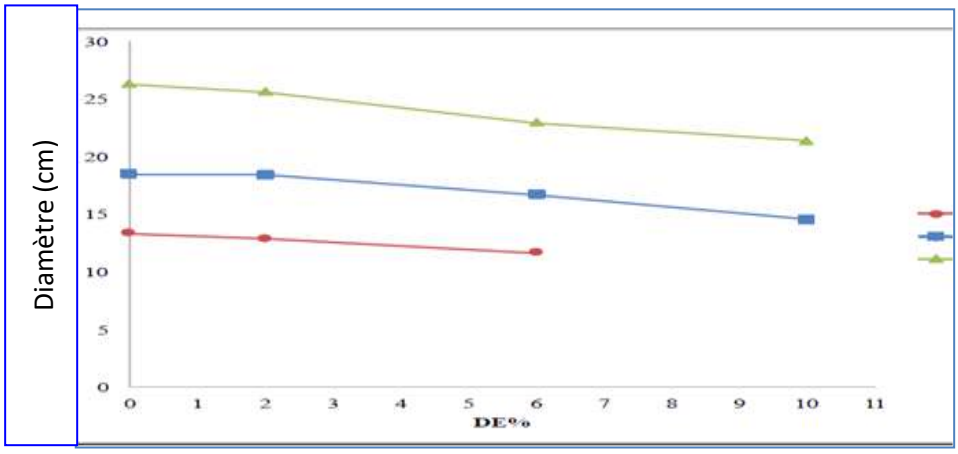



**Figure I.10 débits de diamètre des pâtes de ciment par rapport aux niveaux de remplacement des diatomites**

D'autre part, (lemons 1997) [17] 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. Aussi, il a remarqué que la maniabilité est très bonne au départ, mais elle ne se maintient pas toujours suffisamment, pour un usage après transport ou un temps d'attente.

Egalement, pour des rapports E/C de 0.4, 0.5 et 0.6 et un dosage croissant jusqu'à 10% de diatomite, Hasanzadeh [18a constaté que l'augmentation du dosage en diatomite entraîne une

augmentation de la viscosité. Il a attribué cette, à la faible densité de la diatomite (d'où un faible volume) et à sa texture poreuse qui entraînent des interactions inter-particules plus élevées .La Viscosité de la pâte de ciment par rapport aux niveaux de remplacement du diatomite que représente dans la Figure I.11 .

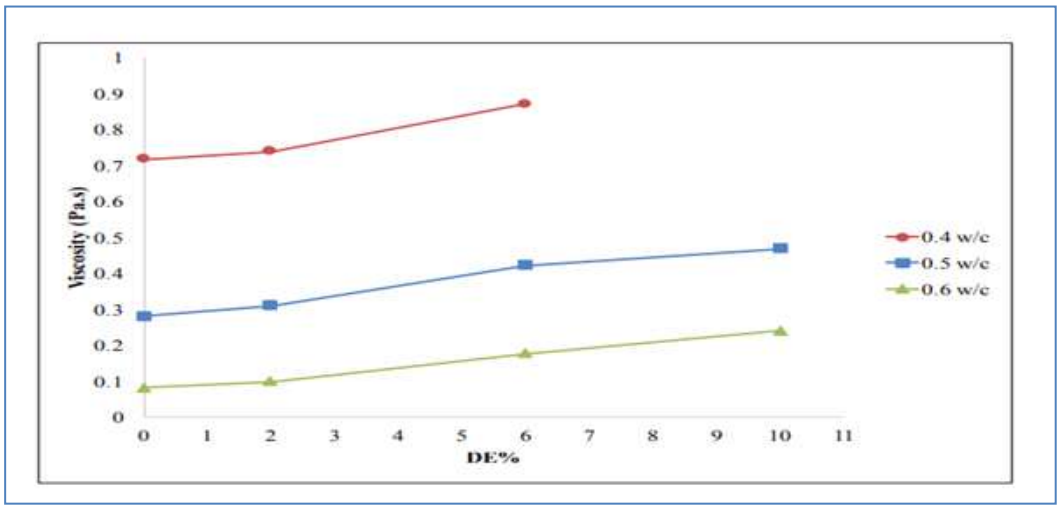



**Figure I.11 : Viscosité de la pâte de ciment par rapport aux niveaux de remplacement du diatomite**

Abrao [abrao] *[19]* 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 La Figure I.12 .




**Figure I.12 : [a, b] Mortier avec E/C=0,48 .**

**[c, d] Mortier avec E/C= 0,53 .**

**[e, f] Mortier avec E/C=0,48 .**

**[g, h] mortier avec E/C=0,53.**

### I.5.2 Temps de prise

**Aydin [Aydin 2007]** [20]ont étudié l'utilisation de la diatomite comme retardateur de prise dans la production de béton par temps chaud. Ils ont incorporé la diatomite en raison de 1%, 2% et 4% en remplacement du ciment. Leur étude expérimentale et la Figure I.13 a montré qu'une faible proportion en diatomite assure un retard dans les temps de début et de fin de prise.

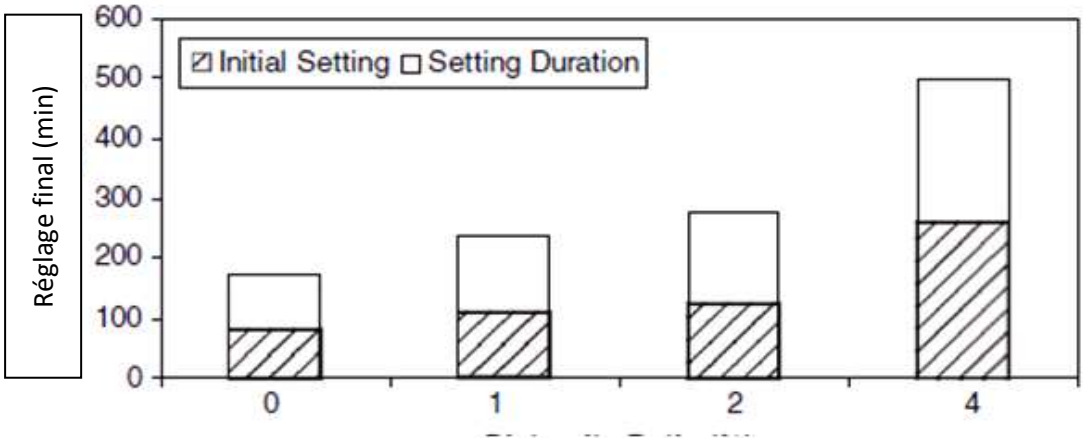



**Figure I.13 : la variation de début et la fin de prise en fonction du rapport de diatomite2007**

D'autre part, Hasanzadeh [Hasanzadeh 2017] [18]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 peuvent absorber 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 .Tableau I.11

De même, Jiaqi [Jiaqi 2019] ont trouvé le même phénomène de retard de prise. Ils ont expliqué cela par l'augmentation du rapport Eau/Liant, qui dilue le système d'hydratation.

**Tableau I.11 : le début et la fin de prise de pâtes de ciment avec différentes E\C rations et niveaux de remplacement de diatomite (2017) .**

| 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 |

Cependant, lorsque le dosage de diatomite est supérieur à 20%, jiaqi [jiaqi 2019] a observé une accélération dans le début et fin de prise. Ce mécanisme d'accélération peut ressembler au rôle des fumées de silice dans l'hydratation des pâtes de ciment (Rossen et al., 2015), dans lequel la fumée de silice accélère considérablement l'hydratation précoce du $C_3A$ et du $C_3S$. Cette même accélération de prise a été observé par Hasanzadeh [18] qui ont a trouvé que l'augmentation du dosage en diatomite entraîne une raccourcissement des temps de début et de fin de prise. Il a expliqué cette accélération de prise, par l'effet pouzzolanique de la diatomite.

Néanmoins, pour des mortiers avec un dosage30% de diatomite, Jiaqi [Jiaqi 2019], a trouvé que le temps de début de prise a retardé de 30% par rapport à celui du mortier témoin. Aussi, le temps de fin de prise a augmenté de 52% par rapport au mortier témoin.

D'autre part, Jiaqi [Jiaqi 2019] a remplacé le ciment blanc par 15% de diatomite. Il a trouvé que l'utilisation d'un superplastifiant prolonge le temps de fin de prise de 15 min, tandis que le temps de début de prise a été raccourci de 16 min. Ce fait était dû à une compétition entre l'effet du superplastifiant qui retard l'hydratation et l'effet de la surface spécifique élevée de silice amorphe qui accélère l'hydratation du C3A.

## I.6 Propriétés du ciment- diatomite à l'état Durci

### I.6.1 Résistance à la compression

La diatomite est un matériau pouzzolanique hautement réactif (Degirmenci et Yilmaz, 2009).[21] L'utilisation de diatomite pour la substitution **PC** peut ressembler à celle de **SF**. Ainsi, l'incorporation de la diatomite dans le béton peut présenter une résistance élevée à la fois au début et à la fin des âges.

#### I.6.1.1 Dosage en diatomite

Des travaux expérimentaux d'Ergun (Ergün, 2011) [22], Fragoulis. (Fragoulis et al., 2005) [23] et (Stamatakis et al., 2003) [24] sur différents types de diatomites ont montré que le remplacement du ciment par **DE** jusqu'à 10-15% augmente la résistance à la compression et à la flexion par rapport aux échantillons témoins (presque à tous les âges mesurés différents avec l'augmentation la plus élevée à 10%). Ils ont conclu que les échantillons avec une teneur plus élevée en silice réactive et une surface Blaine plus élevée montrent une augmentation plus élevée de la résistance à la compression.

De plus, les études de Kastis [25] et Yilmaz et Ediz [26] ont constaté que les niveaux de remplacement jusqu'à 10% montrent une résistance à la compression comparable par rapport aux échantillons témoins, tandis que les échantillons avec une teneur en DE plus élevée montrent une baisse significative de la résistance.

En revanche, les études d'Aydin et Gül (Aydin & Gül, 2007) [27] et Degirmenci et Yilmaz (Degirmenci & Yilmaz, 2009) *[28]* ont montré que pour tous les niveaux de remplacement et tous les âges mesurés, le module d'élasticité et de résistance à la compression et à la flexion était inférieur au contrôle échantillons. Cependant, ils ont constaté que l'utilisation de **DE** peut améliorer à la fois la durabilité au gel-dégel et la résistance aux attaques de sulfate.

Pour un rapport E/C constant, Ahmadi [ahmadi] [29] a réalisé une variation du dosage de diatomite de 0 à 40% du poids du ciment . D'un coté, au jeune âge, Il a trouvé que l'augmentation du dosage de la diatomite diminue la résistance en compression pour l'âge de 3jours. Néanmoins, il a constaté une augmentation de la résistance en compression surtout à l'âge de 91 jours.La Figure I.14 représente la résistance à la compression des échantillons de mortier contenant différents contenu de diatomite en poudre à différents âges.

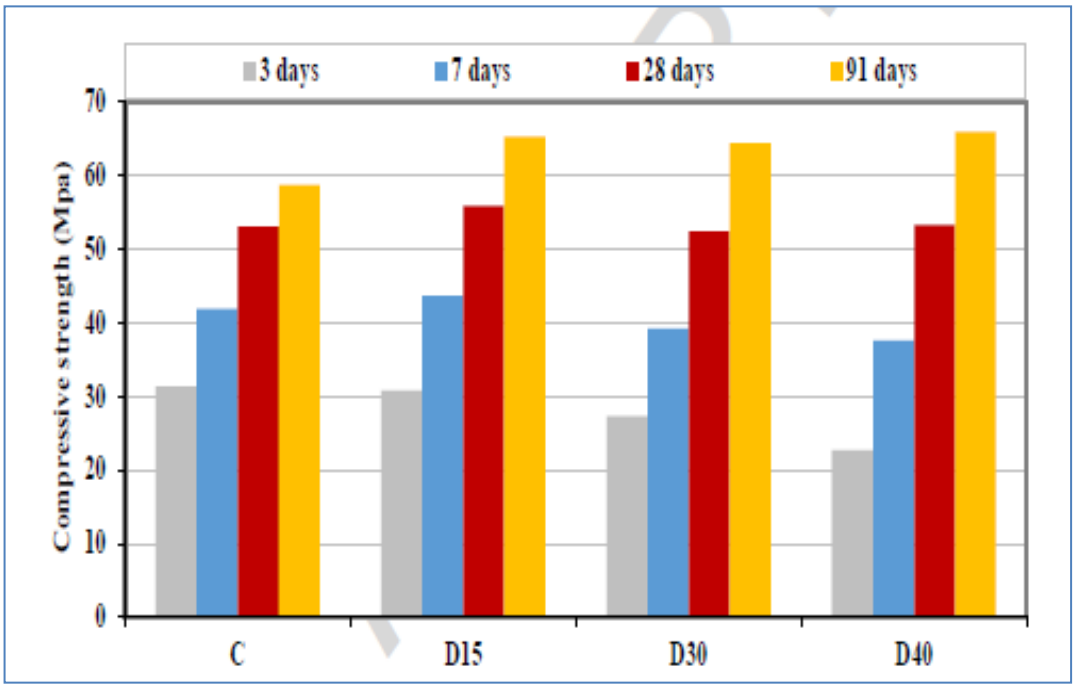



**Figure I.14 Résistance à la compression des échantillons de mortier contenant différents contenu de diatomite en poudre à différents âges**

D'autre part, Tagnit [Tagnit 2003] il a trouvé qu'un dosage optimum de 10% en diatomite donne les plus grandes valeurs de résistance en compression Figure I.15. Des résultats similaires ont été obtenu par Fragoulis pour un dosage de 15% de diatomite. Ergün a combiné un dosage de 5 et 10% de diatomite avec de la poussière de marbre. Il a obtenu que le dosage de 10% offre de bonne résistance en compression.[30]

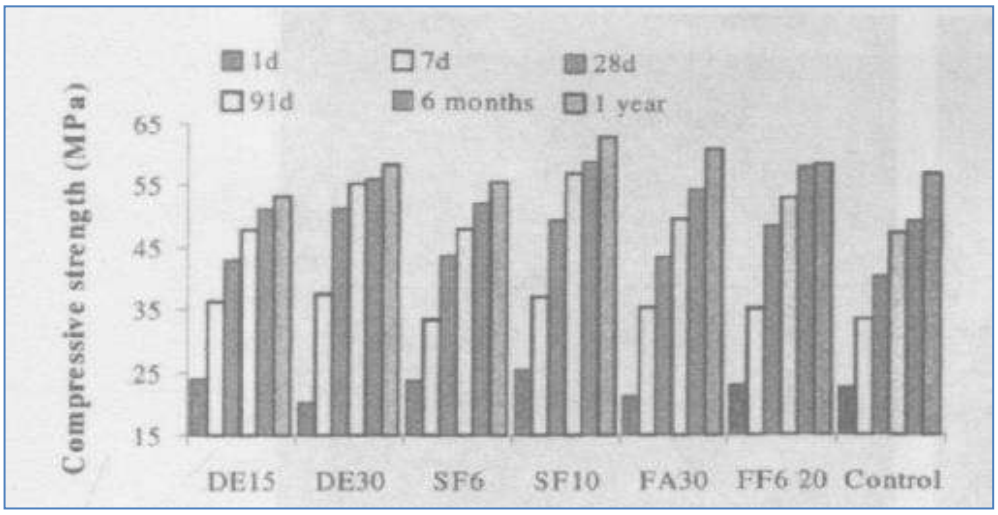



**Figure I.15 Développement de la résistance à la compression**

Néanmoins, d'autres chercheurs ont trouvé que la résistance en compression diminue avec le dosage croissant en diatomite Figure I.16. En effet, pour des dosages de diatomite de 5 à 30% du poids du ciment, Zahalkova [Zahalkova 2016]*[31]* et Stanek [Stanek 2016 ] *[32]* ont constaté cette réduction de résistance de compression.

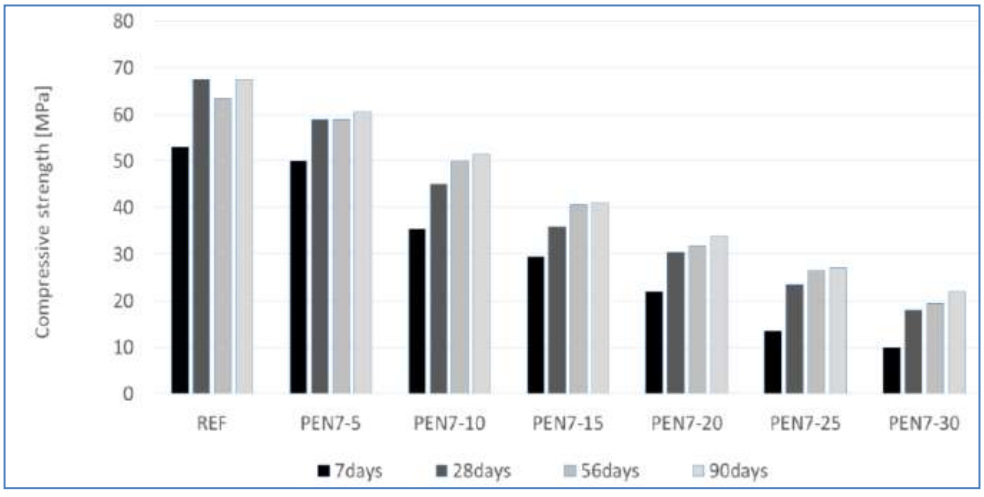



**Figure I .16: la résistance a la compression**

Aussi, de même pour des dosages de 0-15%, Degirmen [Degirmen 2009] et Aydin [Aydin 2007] pour de faible dosage de 2 à 6% ont constaté la même diminution de la

résistance avec le dosage croissant de la diatomite comme la Figure I.17. Ceci est également confirmé par Fragoulis , qui a trouvé une réduction de la résistance pour un remplacement de 20% de diatomite.[20]

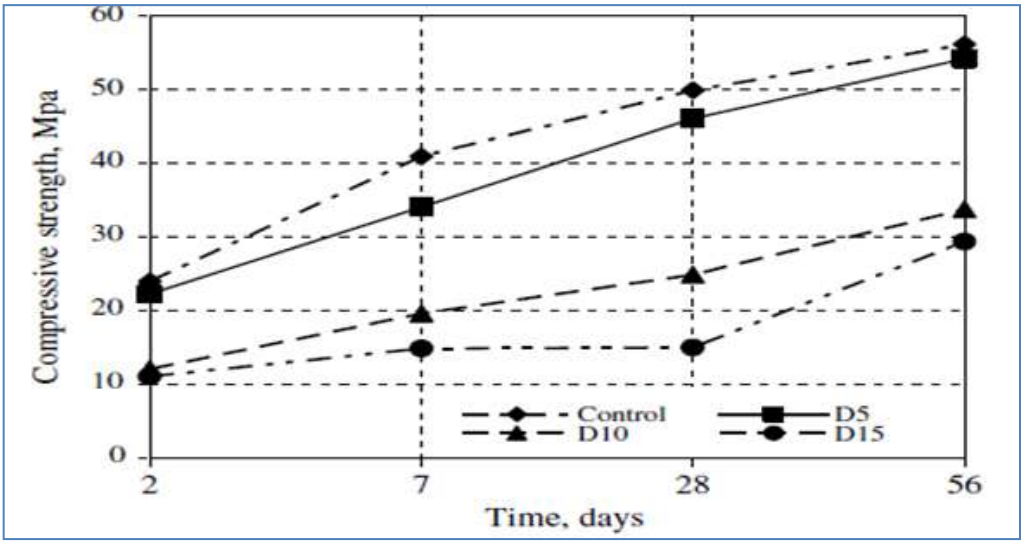



**Figure I.17 : Effet du dosage de la diatomite sur la résistance à la compression [zahalkova2016 ] [degirmen]**

### I.6.1.2 Influence du Superplastifiant

Abrao [Abrao 2019] et Ahmadi [2018] ont trouvé que la diatomite n'est efficace, que si le rapport eau sur ciment (E/C) est faible. En effet, Ils ont remarqué que l'utilisation du superplastifiant augmente considérablement la résistance en compression. Ils ont expliqué, cela, par la forte demande en eau en cas d'absence d'un superplastifiant [19] [29].

Les Figure I.18 , ,Figure I.19 représentent l'effet du superplastifiant sur la résistance à la compression .

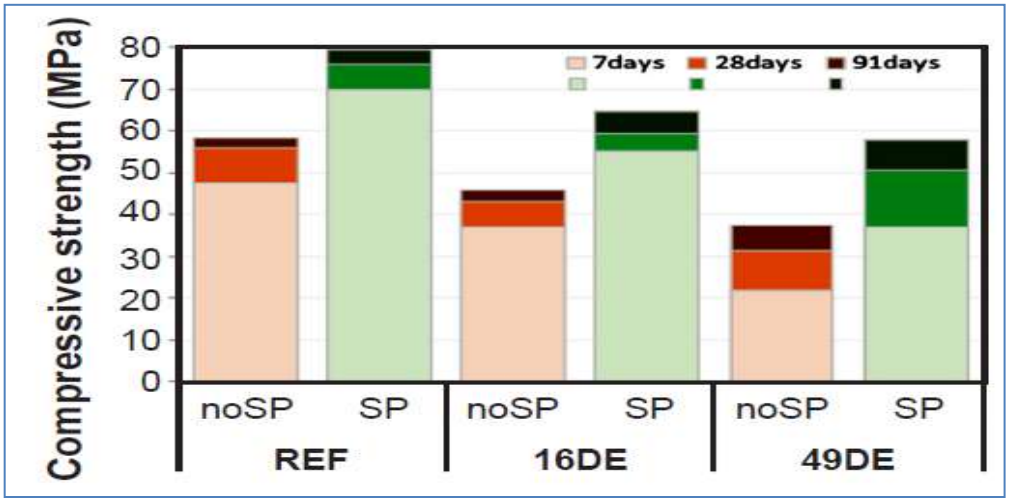



**Figure I.18: Effet du superplastifiant sur la résistance à la compression Ahmadi [2018]**

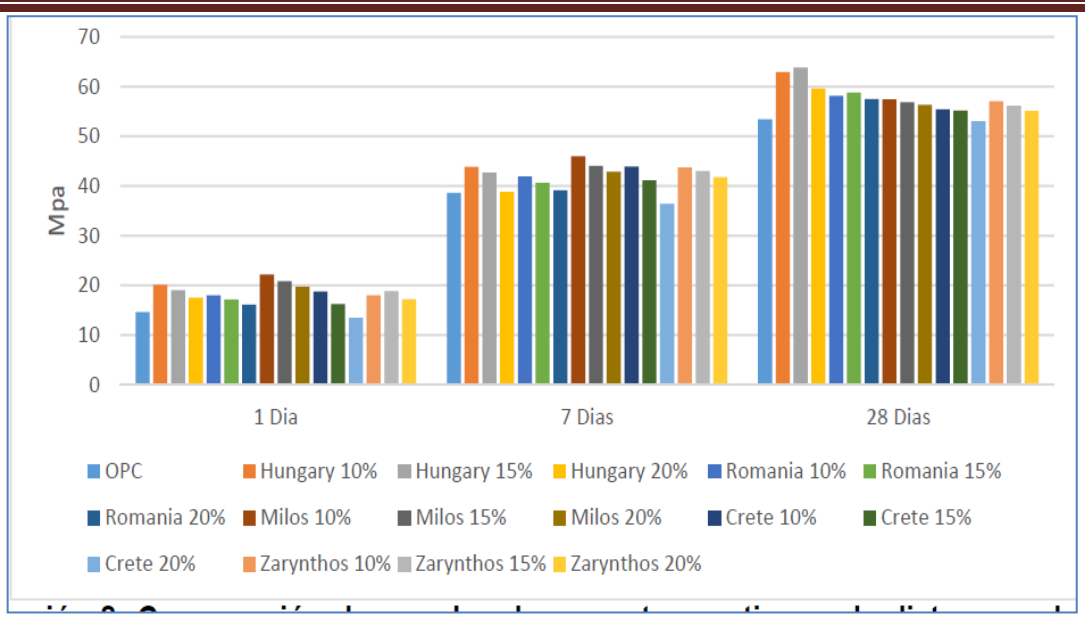



**Figure I.19 : Effet du superplastifiant sur la résistance à la compression [Abrao 2019] stamakis**

En revanche Stamatakis, Fragoulis, Csirik, Bedelean et Pedersen, l'utilisation de la diatomite comme ajouts au ciment présente des inconvénients en raison de sa plus grande demande en eau. Ils recommandent de surmonter la demande accrue d'eau en utilisant des superplastifiants. [17]

### I.6.1.3 Influence du rapport E/C

yilmaz ont conclu que le traitement de la calcination est une bonne alternative pour réduire l'absorption d'eau et, par conséquent, améliorer les propriétés mécaniques.[20]

Pokorny a ajusté le rapport eau/liant afin d'obtenir une ouvrabilité similaire pour toutes les pâtes. Dans ces essais, il a remplacé un ciment de type 42.5R par des dosages de 5%, 10%, 15% et 20%. Il a trouvé que l'augmentation de la diatomite diminue la résistance à la compression

Selon Stamatakis, Fragoulis, , l'utilisation de la diatomite comme ajouts au ciment présente des inconvénients en raison de sa plus grande demande en eau. Ils recommandent de surmonter la demande accrue d'eau en utilisant des superplastifiants. [24]

Stamakis [ stamakis 2003], ils recommandent de surmonter la demande accrue d'eau en utilisant des superplastifiants. La Figure I.20 , Figure I.21 et Figure I.22 représentent ajout d'eau nécessaire pour obtenir un débit égal et la résistance à la compression du mortier pour la diatomite .

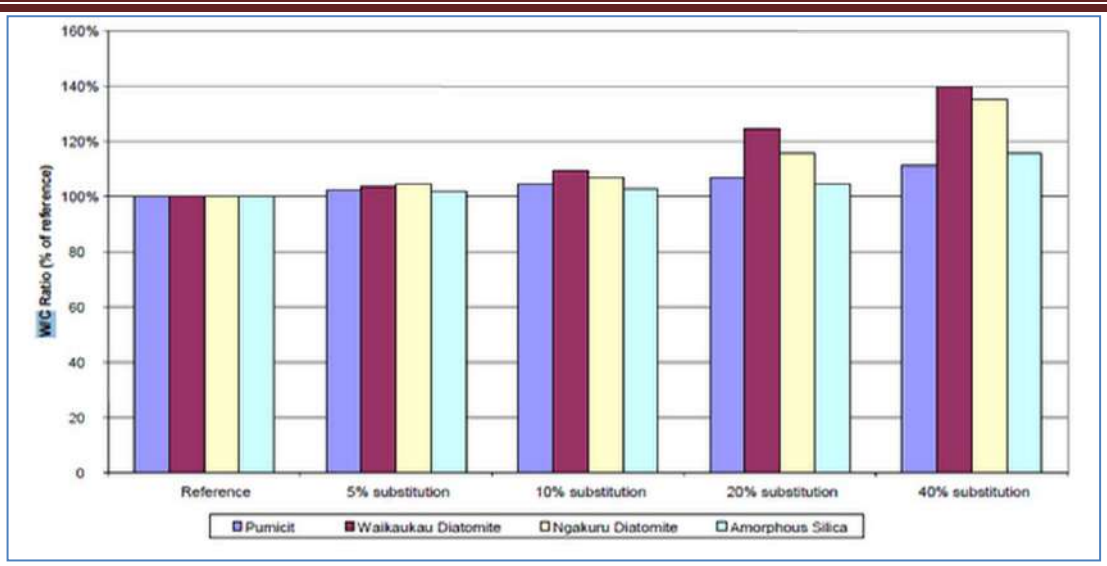



**Figure I.20 : ajout d'eau nécessaire pour obtenir un débit égal**

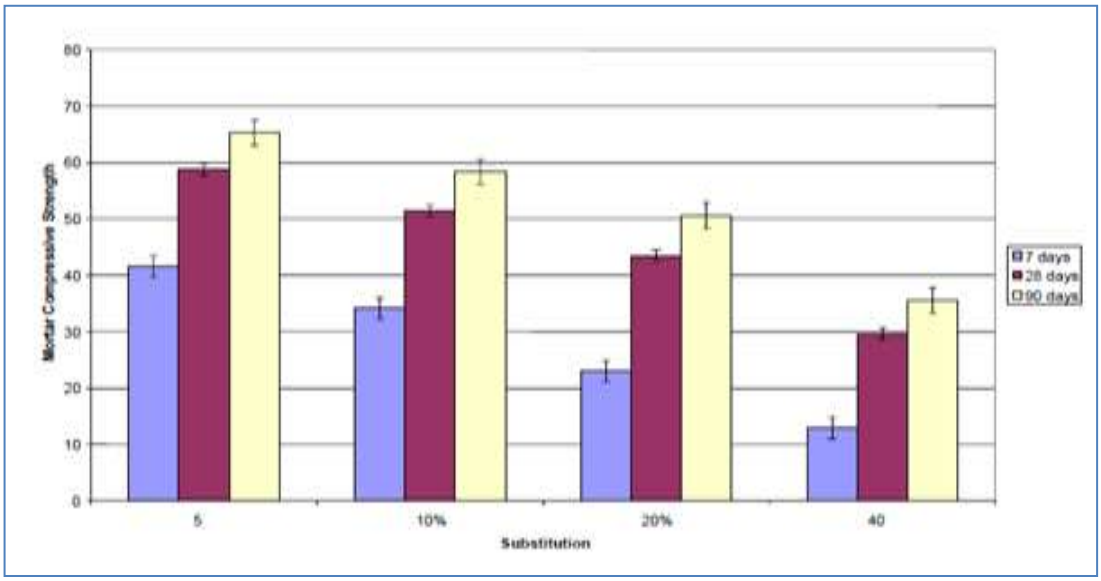



**Figure I.21 : Résistance à la compression du mortier pour la diatomite waikaukau - tous les mélanges utilisant un ajustement à l'eau pour une ouvrabilité égale**

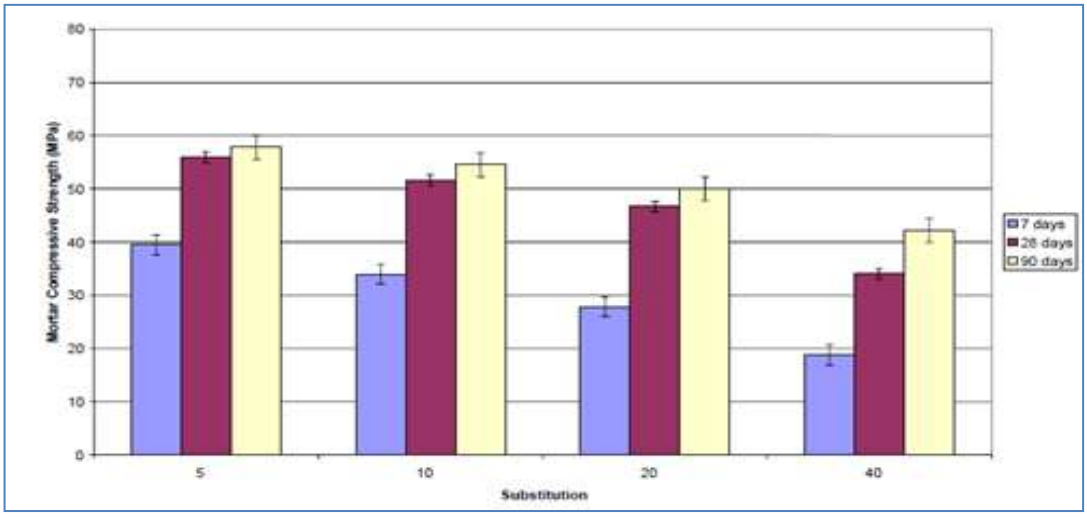



**Figure I.22 : Résistance à la compression du mortier pour la diatomite Ngakuru**

### I.6.1.4 Effet de la finesse de la diatomite

MILO a trouvé que l'incorporation de la diatomite tend a augmenter la surface spécifique à des valeurs dépassant 500 cm2 / gr de finesse. Cela a permet d'augmenter les résistances mécaniques par rapport au ciment portland et au tuf pouzzolanique de Milos [24]. Les mélanges avec des diatomées ont produit une plus grande demande d'eau que le ciment Portland ordinaire, en raison de sa plus grande surface spécifique.

Warren [Warren 2009] a trouvé qu'une pour une diatomite avec une surface spécifique de 500 m2/kg, donne des résistances à la compression supérieures à celles présentant des surfaces spécifiques supérieures à 300 m2/kg. Ceci signifie, que tellement que les particules de diatomite sont fines, tellement que ces interactions avec le ciment sont intenses.

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 [POKORNY 2016] qui a comparé la résistance à la compression des mortiers fabriqué avec de diatomite avec surface spécifique de 1435 et 515 m2/kg.
Les Figure I.24 et Figure I.25 montrent la variation de la résistance à la compression du mortier normalisé pour le diatomite waikaukau et Ngakuru broyé à une finesse de 300 m² / kg par rapport à celle de 500 m²/kg . [33]

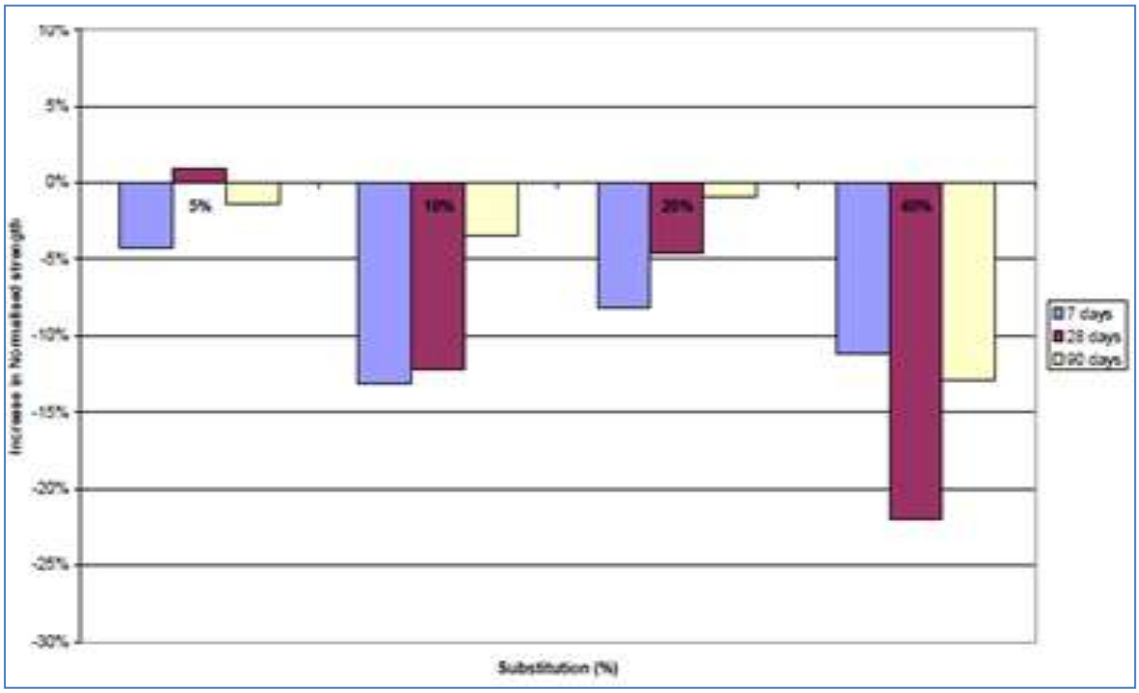



**Figure I.23 : variation de la résistance à la compression du mortier normalisé pour le diatomite waikaukau broyé à une finesse de 300 m² / kg par rapport à celle de 500 m²/kg**

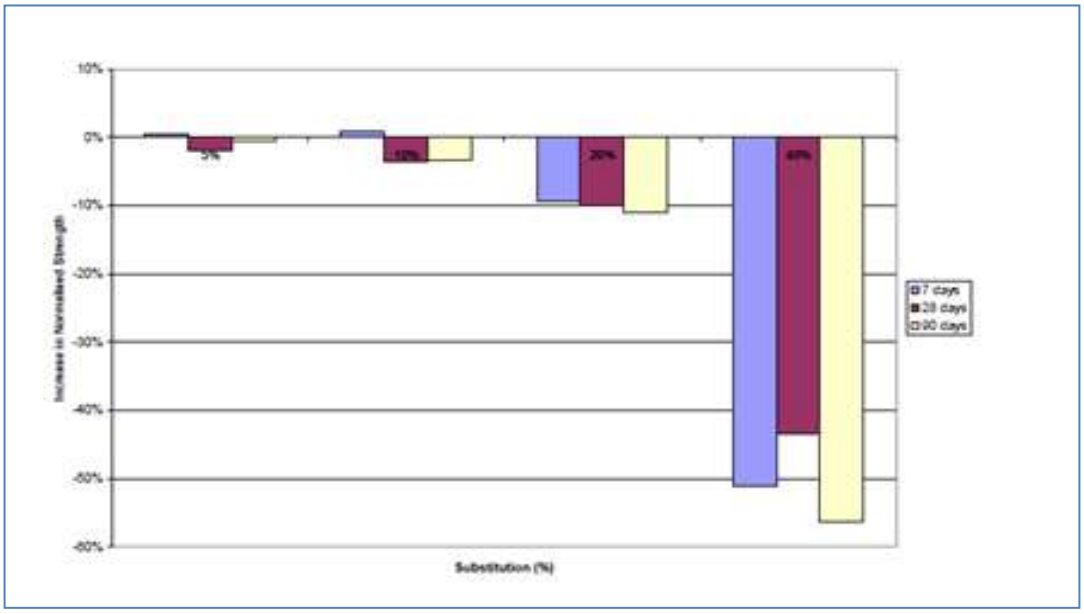



**Figure I.24 : variation de la résistance à la compression du mortier normalisé pour la diatomite Ngakuru broyée à une finesse de 300 m² / kg par rapport à celle de 500m²/kg**

### I.6.1.5 Effet de traitement de la diatomite sur la résistance en compression

Jaiqi Généralement, le niveau de substitution de la diatomite non traité est souvent limité à 10% sans compromettre la résistance.

Stanek [Stanek 2016 ] 10-30 % 10-20% Sans traitement résistance diminue Traitement thermique augmente la résistance

Yilmaz [yilmaz] a étudié l'effet de traitement de la diatomite par calcination sur la résistance en compression. Pour des dosage de 10% de diatomite, Ils ont trouvé que la calcination de la diatomite est efficace.[34] En effet, cette amélioration se produits pour une calcination de 600°C. Figure I.25

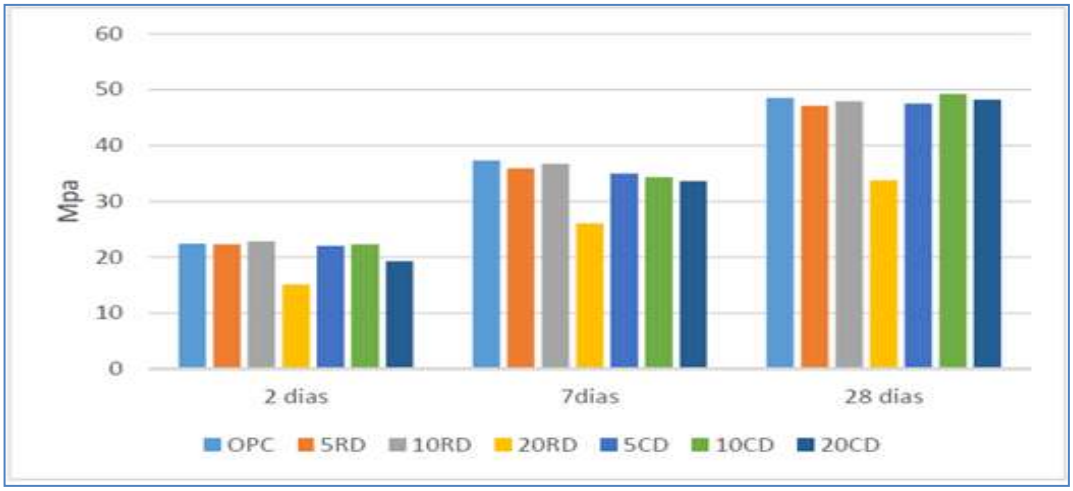



**Figure I.25 : Mortiers de résistance à la compression avec diatomée originale**

### I.6.2 Résistance à la Traction

Pokorny, a ajusté le rapport eau/liant afin d'obtenir une ouvrabilité similaire pour toutes les pâtes. Dans ces essais, il a remplacé un ciment de type I 42.5R par des dosage de 5%, 10%, 15% et 20%. Parmi les principales conclusions de cet article, il a été extrait que l'utilisation de terre de diatomées conduit à une amélioration de la résistance à la flexion des pâtes.

Les résistances en flexion donnent des valeurs contradictoires. Pokorny [pokorny 2015 ] a trouvé que la résistance en flexion augmente avec le dosage croissant de la diatomite.[33]

Egalement, Ahmadi [Ahmadi 2018] a constaté qu'un dosage croissant de 0-40% conduit à une augmentation de la résistance en flexion.

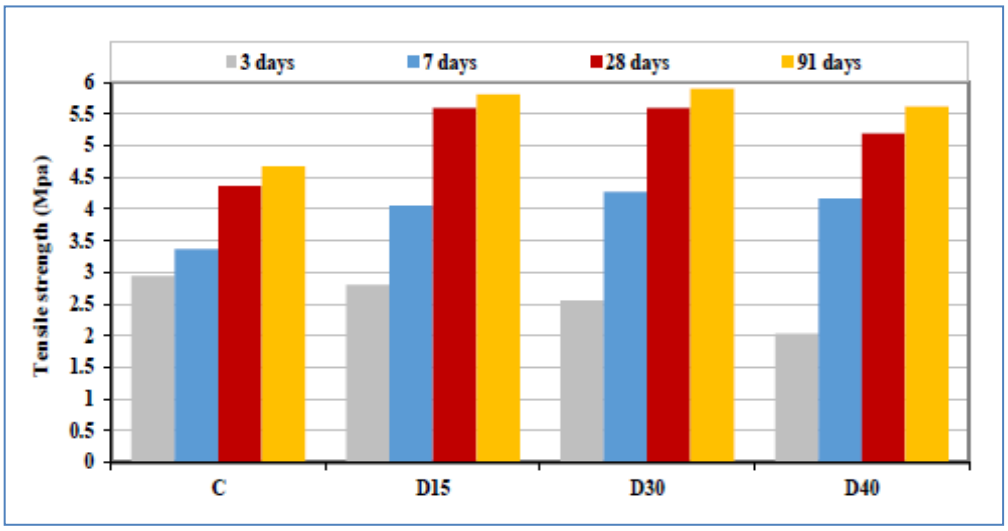



**Figure I.26 : résistance à la traction**

Cependant, Zahalkova [Zahalkova 2016] et Degirmen [Degirmen2009 ] ont constaté que la croissance du dosage de la diatomite entraîne la réduction de la résistance à la flexion des mortiers [31] , que représenta a la Figure I.27

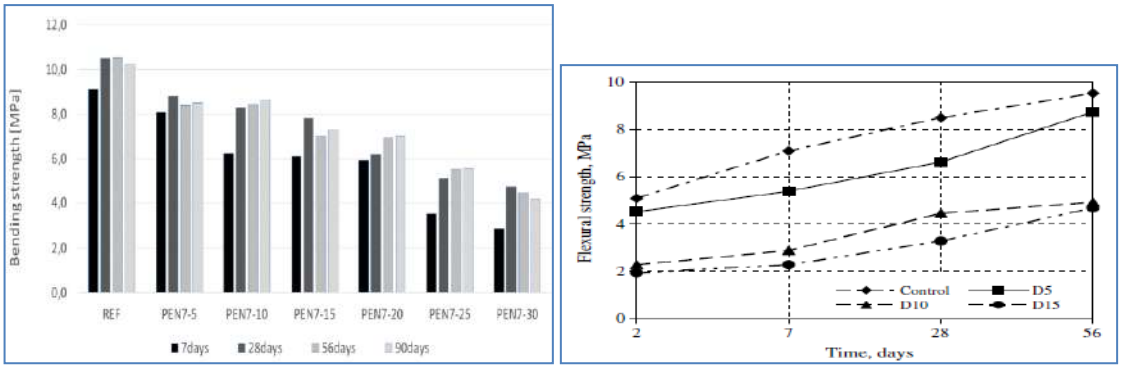



**Figure I .27 :Résistance à la flexion Zahalkova 2016 et Degirmen2009**

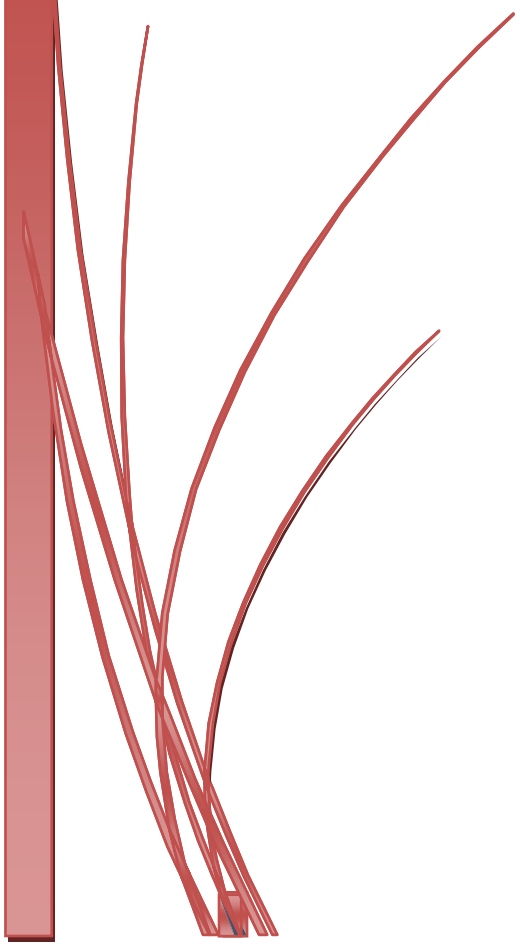
## I.7. Conclusion

En résumé, nous abordons, à travers la bibliographie, d'abord les propriété de diatomites utilisé dans le béton . Nous précisons que :

- Sous l'appellation "diatomite " il existe des types très différents.
- Les caractéristiques des diatomite joue un rôle important sur les propriété mécanique.
- On remarque que le béton a diatomite est très utile et son application est très léger.
- Cette dernière à utiliser dans plusieurs domaines, notamment l'isolation thermique et Acoustique .

# Chapitre II

# Matériaux et Essais



## II. Introduction

Ce chapitre il s'agit d'effectuer des essais physico-chimique et mécaniques qui permettent d'évaluer l'efficacité de ce matériau. En première partie, on présente les caractéristiques des matériaux utilisés. Tandis que, la deuxième partie, on présente les différentes formulations confectionnées ainsi que les méthodes et essais utilisés pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques.

## II.1 Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette étude sont tous de matériaux locaux. Pour nos différents essais, on utilisé du sable, ciment, superplastifiant et ajouts minéraux ( gypse, chaux poudre aluminium et diatomite). L'ensemble de ces matériaux est illustrée dans la figure II.1 .

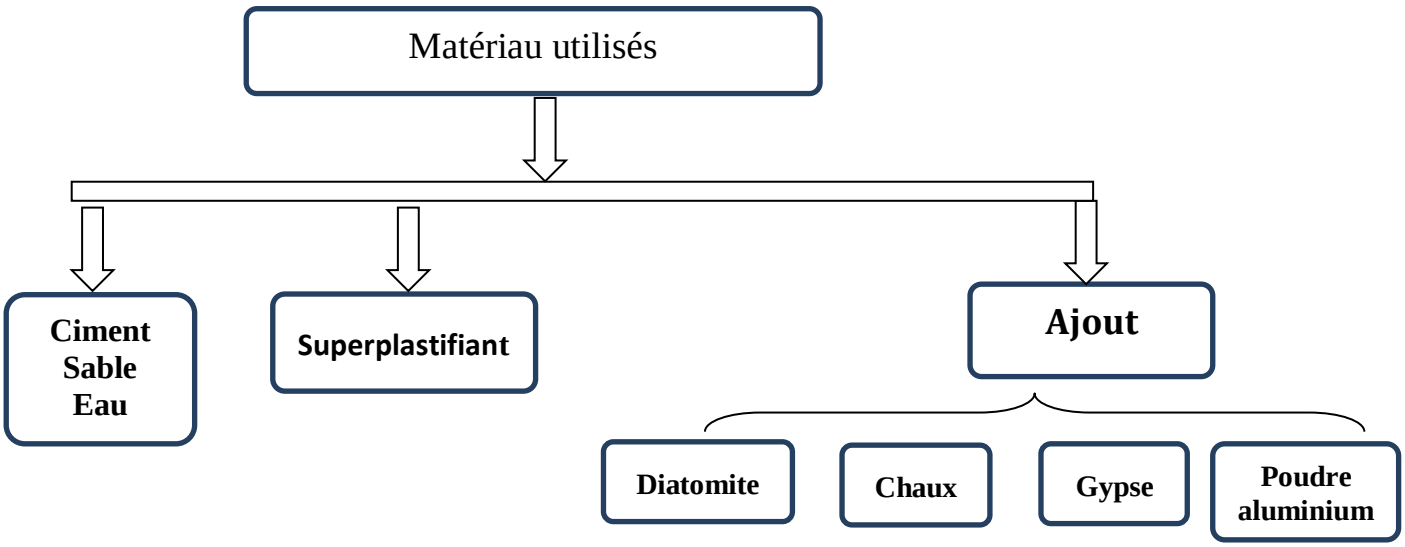



**Figure II.1 : Matériaux utilisés**

### II.1.1 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 M'sila de nom commercial MATINE. Les compositions chimiques et minéralogiques ainsi les caractéristiques physico-mécaniques sont présentées dans les tableaux suivants :

**Tableau II.1 : Compositions chimique et minéralogique du ciment CEM II 42.5 R**

| composition chimique (%) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **CaO** | **$SiO_2$** | **$Al_2O_3$** | **$Fe_2O_3$** | **MgO** | **$SO_3$** | **$Na_2O$** | **$K_2O$** | **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 |

L'analyse granulométrique laser effectuée sur ce ciment donne la courbe présentée à la figure II-3. Elle montre que le ciment a une granulométrie comprise entre 55 µm et 0,1µm avec un diamètre médian (D50) de 10,5 µm. [36]

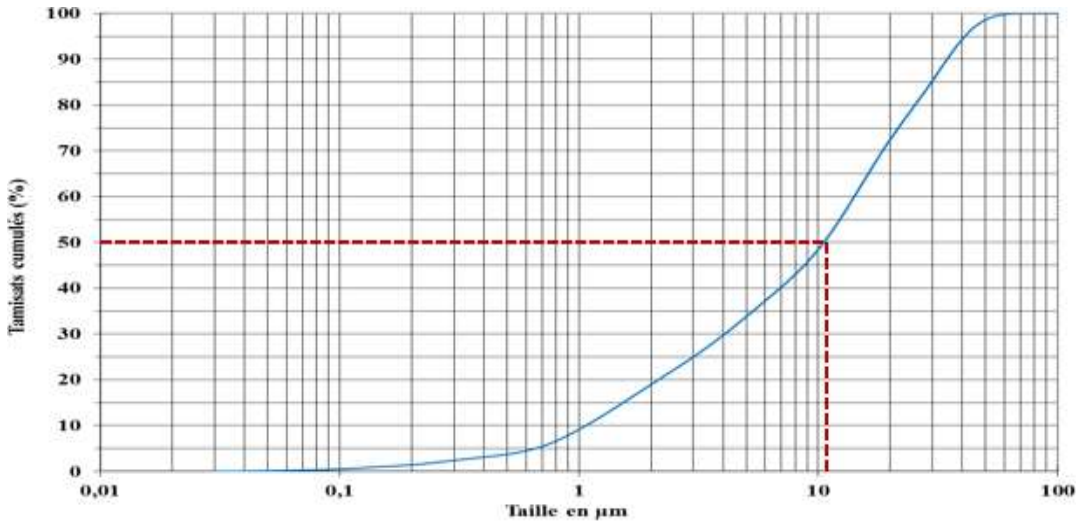



**Figure II-2: Distribution granulaire du ciment [36]**

### II.1.2 Sable

Le sable utilisé est un sable 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.4 et le tableau II.2.

**Tableau II.2 caractéristique physique du sable**

| Caractéristique | Sable | normes |
|---|---|---|
| Masse volumique absolue | 2.65 | NF P18-554 |
| Masse volumique apparente | 1.6 | ISO 67834982 (F) |
| 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 |

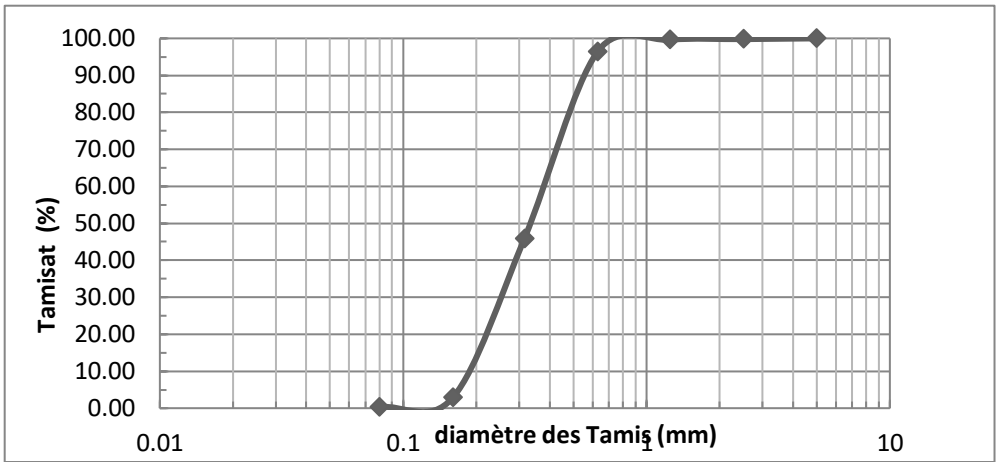



**Figure II.3: analyse granulométrique du sable 0/2)**

### II.1.3 Superplastifiant

Le superplastifiant utilisé est le MEDAPLAST SP40. C'est un produit haut réducteur d'eau à base de polycarboxylate d'éther modifiés. Ces caractéristiques physico-chimiques sont présentées dans le **tableau II.3**.[ annexe12]

**Tableau II.3: Caractéristiques du superplastifiant MEDAPLAST SP40**

| Forme | Couleur | Extrait sec | Densité | PH | Teneur en chlorure |
|---|---|---|---|---|---|
| liquide | Marron | 40% | 1.20±0.01 | 8.2 | <1 g/l |

### II.1.4 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est une eau de robinet et ne contenant pas d'impuretés.

### II.1.5 Poudre aluminium

Dans la partie de la réalisation d'un mortier cellulaire à base de diatomite-chaux, on a introduit une poudre aluminium. Les caractéristiques de la poudre d'aluminium sont données par le tableau II.4. [annexe 11]

**Tableau II.4 caractérisation de poudre aluminium**

| Forme | Couleur | Odeur | Densité ($g/cm^3$) | PH | Point de fusion | Point initial d'ébullition |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Poudre | Argent | Inodore | 2.7 | 7 | 666°C | 2460°C |

### II.1.6 Gypse

Le gypse utilisé agit comme un accélérateur de durcissement, au moins 90% de $Ca(SO4)2H_2O$ [ annexe 9 ]

**Tableau II.5 Caractérisation de gypse**

| Forme | Couleur | Densité ($g/cm^3$) | viscosité (UK) | Poids de solides | Granularité |
|---|---|---|---|---|---|
| Poudre | Blanche | 1.3 | 96-102 | 42.9 % | 0/5mm |

### II.1.7 Chaux

La chaux utilisée pour la confection d'un mortier léger est une chaux CL-90. Elle est issue de la carrière de Hassana (w. SAIDA) [35]. Ces propriétés physique et chimiques sont présentées dans le tableau II .6 .

**Tableau II. 6 Propriétés physique et chimiques de la chaux de Saida**

| Composition chimique (%) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **CaO** | **$SiO_2$** | **$Al_2O_3$** | **$Fe_2O_3$** | **MgO** | **$SO_3$** | **$Na_2O$** | **$CO_2$** | **$CaCO_3$** |
| | 73.3 | 2.5 | 1.5 | 2 | 0.5 | 0.5 | 0.45 | 5 | 8.5 |
| Caractéristiques physiques | | | | | | | | | |
| Densité spécifique ($g/cm^3$) | | Densité apparente ($g/cm^3$) | | Matériaux insoluble | | | Granularité | | |
| | | | | | | | >90um | >630um | |
| 2 | | 600-900 | | <1% | | | <10 | 0 | |



**Figure II.4 gypse chaux et poudre aluminium**

### II.1.8 Diatomite

La diatomite est obtenue par la carrière de Sig de Mascara. L'analyse granulométrique de cette diatomite est présentée sur la figure II.6. 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.5 échantillon poudre de diatomite**

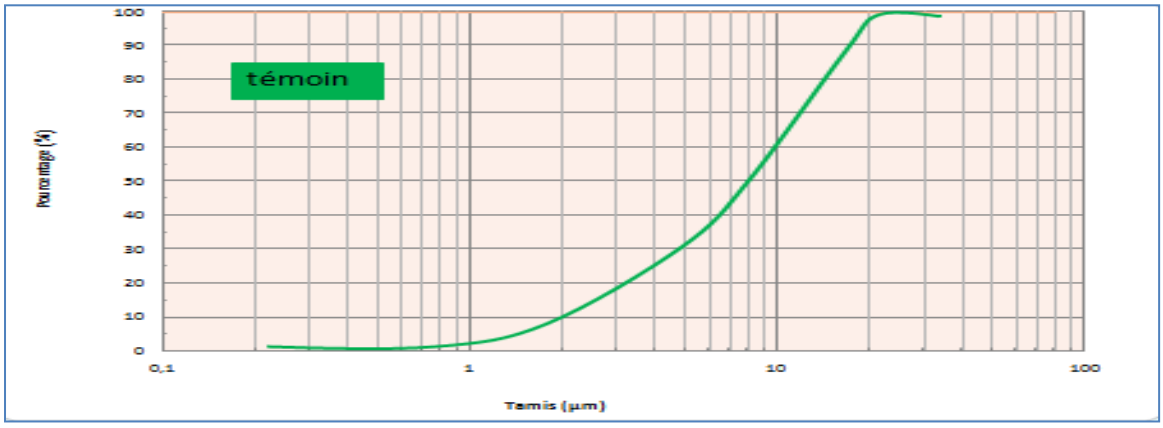



**Figure II.6 : courbe de l'analyse granulométrique de la diatomite brute**

La diatomite utilisée est constituée majoritairement de la silice (76,18%) et de calcaire (12,90%) avec petites quantités d'oxydes.[ Annexe13]

**Tableau II.7 : la composition chimique et les caractéristiques physiques composition chimique de cette diatomite.**

| | Composition chimique | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$SIO_2$** | **CaO** | **$AL_2O_3$** | **$Fe_2O_3$** | **MgO** | **$K_2O$** | **$Na_2O$** | **$SO_3$** | **$TiO_2$** | **PAF** |
| | 76.18 | 12.90 | 4.32 | 2.43 | 1.21 | 0.97 | 0.54 | 0.64 | 0.17 | 8.7 |
| Caractéristiques physicà-chimique | | | | | | | | | | |
| couleur | Densité spécifique ($g/cm^3$) | | Surface spécifique ($cm^2/g$) | | Granulométrie refus ($\phi$125) | | ($\phi$75) | | PH | |
| Blanche | 950 | | 5596 | | 9% | | 3% | | 6 .75 | |

**NB**. Dans cette étude, la diatomite a été calcinée aux températures de 200°C (DT200), de 400°C (DT400), de 600°C (DT600), de 800°C (DT800) et de 1000°C (DT1000).

## II.2 Préparation 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 microstructurale. Une deuxième formulation de mortier pour étudier le comportement mécanique. Tandis que la troisième s'intéresse à l'effet de combiné d'une poudre d'aluminium avec la diatomite sur le comportement des mortiers de chaux.

Les formulations des mortiers et pâtes de ciment ont été confectionnées par un remplacement partiel du ciment par des pourcentages de 5, 10, 15 et 20 % de diatomite brute et calcinée à des température de 200, 400, 600, 800 et 1000°C.

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 superplastifiant haut réducteur d'eau.

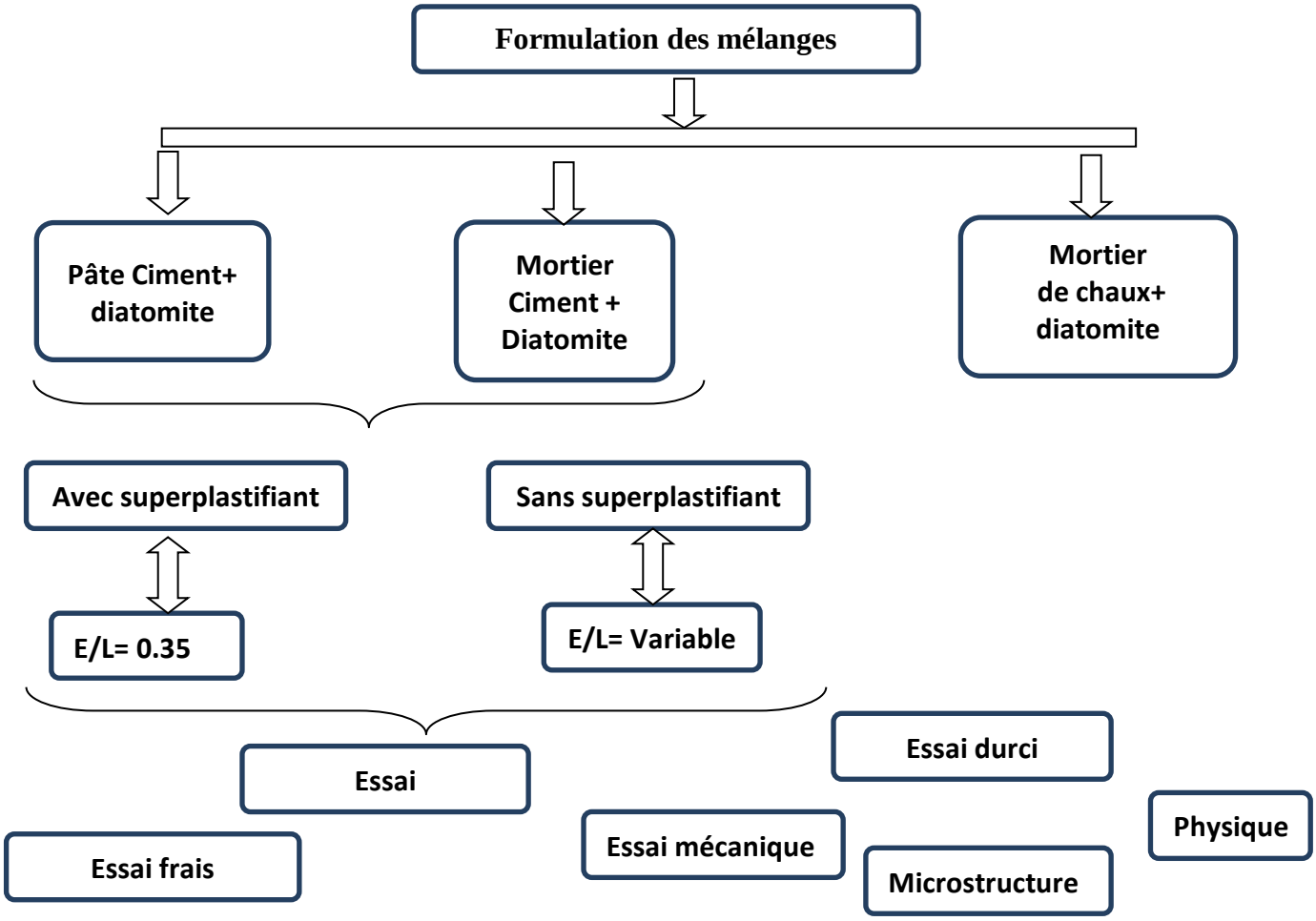



**Figure II.7 : Formulation et variables étudiées**

**Tableau II.8 : Composition des mélanges de pâte de ciment**

| **Diatomite Brute** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Témoin | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| %Remplacement | 0 | 5% | 10% | 15% | 20% | 5% | 10% | 15% | 20% |
| Diatomite (Kg/m$^3$) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| ciment(Kg/m$^3$) | 400 | 380 | 360 | 340 | 320 | 380 | 360 | 340 | 320 |
| SP (%) | ---------- | | | | | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.6 |
| Eau/Liant | 0.5 | 0.87 | 0.91 | 1.01 | 1.05 | 0.35 | | | |
| **Diatomite calcinée 200°C (DT200)** | | | | | | | | | |
| | | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| %Remplacement | 0 | 5% | 10% | 15% | 20% | 5% | 10% | 15% | 20% |
| Diatomite (Kg/m$^3$) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| ciment(Kg/m$^3$) | 400 | 380 | 360 | 340 | 320 | 380 | 360 | 340 | 320 |
| SP (%) | ---------- | | | | | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 |
| Eau/Liant | 0.5 | 0.63 | 0.99 | 1.1 | 1.15 | 0.35 | | | |
| **Diatomite calcinée 400°C (DT400)** | | | | | | | | | |
| | | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| %Remplacement | 0 | 5% | 10% | 15% | 20% | 5% | 10% | 15% | 20% |
| Diatomite (Kg/m$^3$) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| ciment(Kg/m$^3$) | 400 | 380 | 360 | 340 | 320 | 380 | 360 | 340 | 320 |
| SP (%) | | ---------- | | | | 0.9 | 1 | 1.1 | 1.2 |
| Eau/Liant | 0.5 | 0.7 | 1.06 | 1.14 | 1.17 | 0.35 | | | |
| **Diatomite calcinée 600°C (DT600)** | | | | | | | | | |
| | | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| %Remplacement | 0 | 5% | 10% | 15% | 20% | 5% | 10% | 15% | 20% |
| Diatomite (Kg/m$^3$) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| ciment(Kg/m$^3$) | 400 | 380 | 360 | 340 | 320 | 380 | 360 | 340 | 320 |
| SP (%) | | ---------- | | | | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 1.6 |
| Eau/Liant | 0.5 | 0.92 | 1.16 | 1.2 | 1.32 | 0.35 | | | |
| **Diatomite calcinée 800°C (DT800)** | | | | | | | | | |
| | | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| %Remplacement | 0 | 5% | 10% | 15% | 20% | 5% | 10% | 15% | 20% |
| Diatomite (Kg/m$^3$) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| ciment(Kg/m$^3$) | 400 | 380 | 360 | 340 | 320 | 380 | 360 | 340 | 320 |
| SP (%) | | ---------- | | | | 1.7 | 1.8 | 2.5 | 3.2 |
| Eau/Liant | 0.5 | 0.92 | 1.25 | 1.33 | 1.35 | 0.35 | | | |
| **Diatomite calcinée 1000°C (DT1000)** | | | | | | | | | |
| | | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| %Remplacement | 0 | 5% | 10% | 15% | 20% | 5% | 10% | 15% | 20% |
| Diatomite (Kg/m$^3$) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 20 | 40 | 60 | 80 |
| ciment(Kg/m$^3$) | 400 | 380 | 360 | 340 | 320 | 380 | 360 | 340 | 320 |
| SP (%) | | ---------- | | | | 3 | 3.2 | 3.4 | 3.6 |
| Eau/Liant | 0.5 | 1.15 | 1.39 | 1.5 | 1.61 | 0.35 | | | |

### II.2.1 Préparation et séquence de malaxage des pâtes de ciment

Un malaxeur à mortier d'une capacité de 5 litres a été utilisé pour préparer les pâtes de ciment. Le choix du protocole de malaxage est basé sur quelques essais préliminaires que nous avons réalisés dans 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 superplastifiant et vu la 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 sec, le reste de l'eau, avec les deux tiers de la dose de superplastifiant, est introduit progressivement en malaxant pendant 90 sec. Finalement, le reste du superplastifiant est introduit et l'ensemble du mélange est malaxé pendant 90s.

**Tableau II.9 : Etape malaxage des pâte de ciments avec et sans superplastifiant**

| pâte de ciments | Etape | Matériaux introduits | Durée de malaxage |
|---|---|---|---|
| sans superplastifiant | 1 | 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 |
| | | Introduction de 1/3 l'eau | 90 s |
| avec superplastifiant | 1 | 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 | 90s |
| | 6 | arrêt de quelques secondes | 30 s |
| | 7 | ajouter 1/3 superplastifiant | 90 s |

**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.8 : Procédure de malaxage des pâtes de ciment sans superplastifiant**

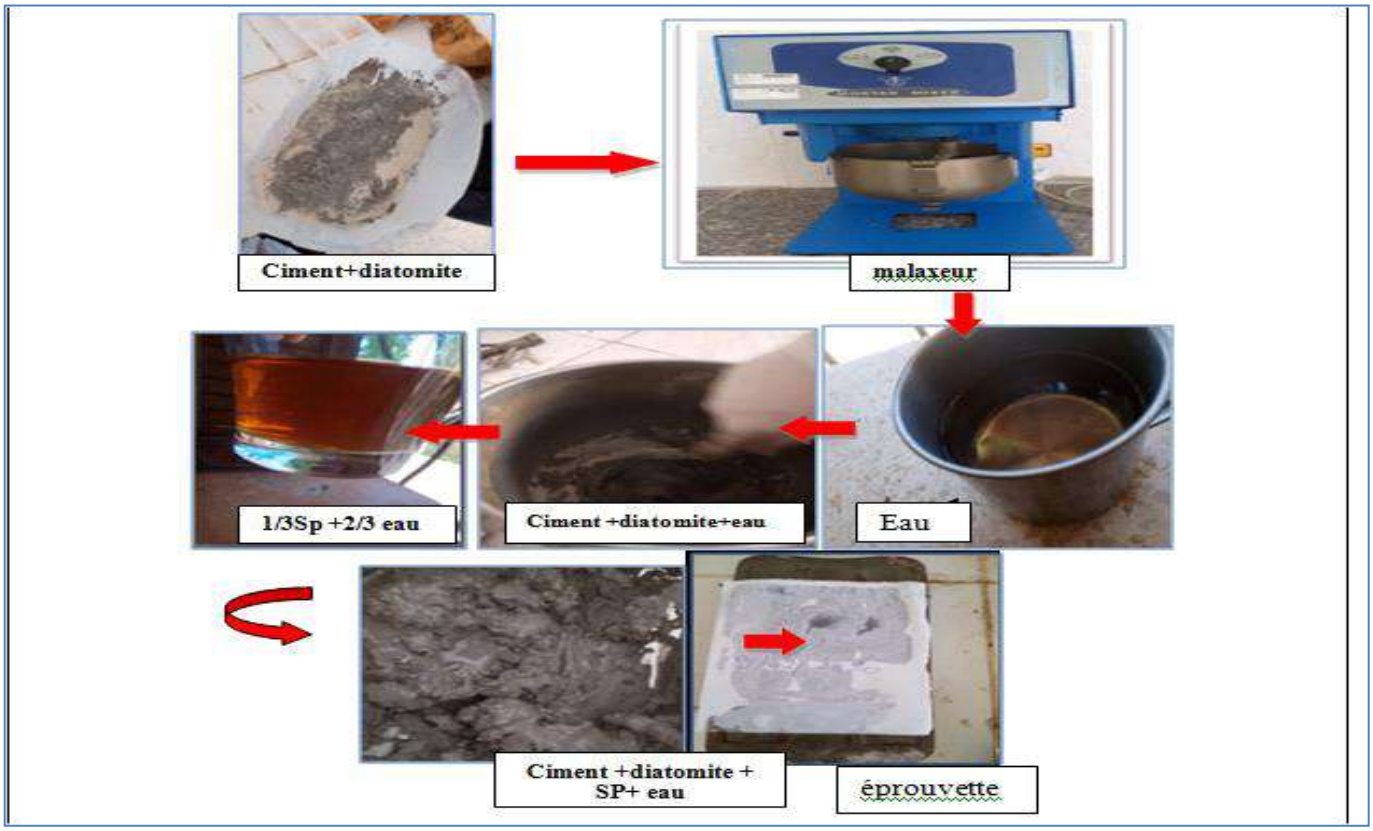



**Figure II.9: Procédure de malaxage des pâtes de ciment avec superplastifiant**

### II.2.2 Préparation et séquence de malaxage des mortiers

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. Après 24heures, les éprouvettes sont démoulées et conservées à l'air.

### II.2.3 composition et Séquence de malaxage du mortier léger

Un mortier léger a été formulé à partir de matières premières naturelles. Il s'agit mélange de sable, de ciment, de poudre d'aluminium ou de pâte d'aluminium, de chaux et de gypse. La composition de ce mortier est donnée par le tableau :

**Tableau II .10 : Composition mortier léger**

| | ciment | sable | chaux | Poudre aluminium | gypse | eau | Diatomite |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dosage % | 20 | 65 | 15 | 0.05 | 1 | 0.5 | 5 -10 -15 -20 |

Le malaxage du mortier cellulaire se fait suivant la procédure:

**Tableau II.11 : étape malaxage de mortier légers**

| Etape | Matériaux introduits | Durée de malaxage |
|---|---|---|
| 1 | chaux ,gypse , aluminium et diatomite | 2 minutes |
| 2 | arrêt de quelques secondes | |
| 3 | Introduction de toute l'eau | 2 minutes |



**Figure II.10 Les éprouvettes de mortier Leger**

## II .3. 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.12 : Essais réalisées sur Mortiers et pâtes de ciment**.

| | mortier | Pâte | |
|---|---|---|---|
| **Etats frais** | Prise<br>Maniabilité<br>Masse volumique | | |
| **Etat durci** | Compression<br>Flexion<br>Masse volumique | Densité | |
| | | Resistance | A la compression |
| | | Microstructure | ATG |
| | | Pouzzolanite | Indice d'activite |

### II .3.1 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 superplastifiant. Pour cela, une ouvrabilité à 2 cm dans le mini-cône et un temps de maniabilimètre de 12 s ont été maintenus.

### II .3. 1.1. Affaissement 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. 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.

### II .3. 1.1. 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 muni d'une cloison amovible.

### II .3. 1.3. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente du mortier frais est déterminée conformément à la norme EN 1015-6 .

### II .3. 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. 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.

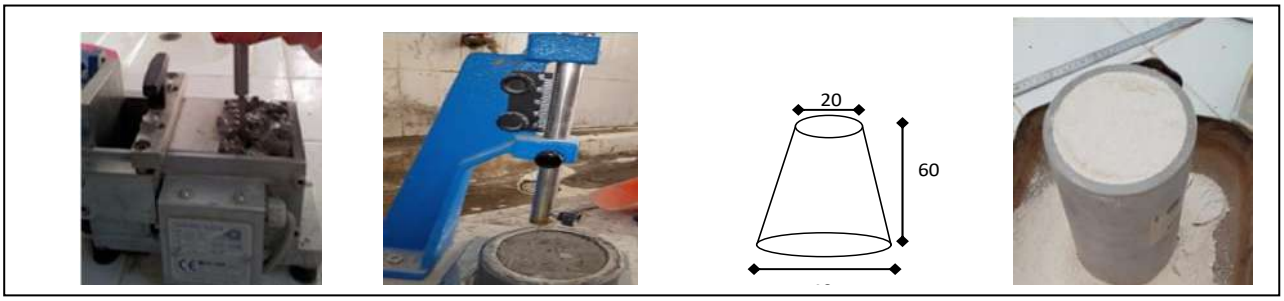



**Figure II.11 les essais réalisé**

### II .3. 2 Essai de caractérisation à l'état durci

### II .3. 2.2. Conductivité thermique

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



**Figure II.12 Essai conductivité thermique CT**

### II .3. 2.3. Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée conformément à la norme EN196-1. Les éprouvettes testées sont des pâtes de ciment de dimension 20x20x20 et des mortiers en demi-prismes d'éprouvette 40x40x160 mm.




**Figure II.13 Essai de compression sur cube de (2x2x2) cm**



**Figure II. 14 .l'éprouvette après la compression**

### II .3. 2.4. Resistance à la flexion

Selon la norme [EN 196-1], l'essai consiste à rompre en flexion (par trois points) des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm

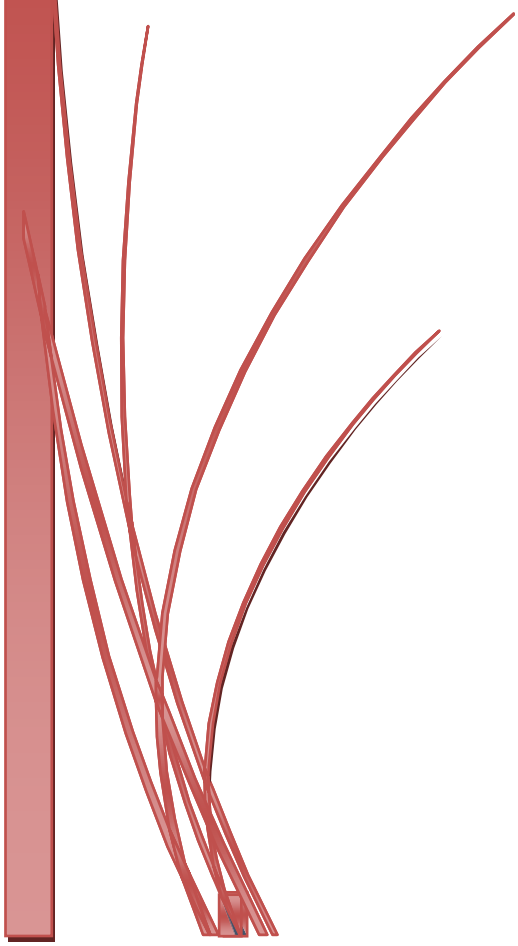
### II .3. 2.5 Analyse thermogravimétrie

La réalisation de l'Analyse Thermogravimétrique (ATG) pour le suivi de la cinétique d'hydratation est faite avec calcination des échantillons de diatomite.

Les produits de l'hydratation du ciment se décomposent lors d'un essai d'ATG en libérant de l'eau sous forme de vapeur et du dioxyde de carbone. La masse de l'échantillon est égale au maximum à 1000 mg, elle est conditionnée par la taille du creuset utilisé lors de la montéeen température 400°jusqu'à 600°C avec une rampe de 10°C/min.

# Chapitre III

## Résultats et Interprétations



## III.1 introduction

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'effet de l'introduction de la diatomite sur le comportement des mortiers. Ce chapitre est constitué de quatre parties principales :

La première partie est consacrée aux résultats des essais d'identification expérimentale des propriétés de la diatomite brute et calcinée. Plus précisément, on présente les propriétés physique (masse volumique absolue et apparente, Surface spécifique et granulométrie) et chimiques (composition chimique, PH, IRTF, et pouzzolanite).

La deuxième partie décrit l'effet de l'augmentation du rapport Eau/Liant et de l'utilisation du superplastifiant sur le comportement des mortiers à l'état frais où on s'intéresse à la détermination de la demande en eau et du dosage en superplastifiant.

La troisième partie de ce chapitre décrit, d'une part, le comportement mécanique des mortiers à l'état durci. D'autre part, elle décrit les caractéristiques de la microstructure sur pâte de ciment (ATG).

La quatrième partie de ce chapitre, s'intéresse à l'effet thermique de l'ajout de la diatomite à un mortier de chaux et du gypse.

## III.2 Caractérisation de diatomite

### II.2.1 Les compositions chimiques

Les compositions chimiques, déterminées par analyse chimique , de la diatomite brute et calcinée à différentes températures (200° .400°.600°. 800 et 1000°C) sont données dans le Tableau II.8 .

**Tableau III.1 : Compositions chimiques de la diatomite calcinée à 200°, 400° .600°, 800°C, 1000°C**

| | $SIO_2$ | CaO | $AL_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $SO_3$ | $TiO_2$ | PAF |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DT BR** | 76.18 | 12.90 | 4.32 | 2.43 | 1.21 | 0.97 | 0.54 | 0.64 | 0.17 | 8.7 |
| **DT200** | 77.33 | 12.45 | 4.07 | 2 .22 | 1.25 | 0.88 | 0.51 | 0.53 | 0.19 | 7.7 |
| **DT400** | 78.5 | 10.45 | 3.21 | 2.08 | 1 .29 | 0.79 | 0.48 | 0.43 | 0.20 | 7.2 |
| **DT600** | 79.85 | 8.47 | 3.16 | 1 .30 | 1.33 | 0.60 | 0.45 | 0.20 | 0.21 | 5.9 |
| **DT800** | 81.56 | 2.2 | 2.13 | 1.17 | 1.46 | 0.54 | 0.43 | 0.18 | 0.23 | 5.7 |
| **DT1000** | 84.12 | 0.54 | 2.12 | 1.19 | 2.34 | 0.43 | 0.41 | 0.22 | 0.28 | 4.9 |

Les propriétés physiques de la diatomites sont données comme suit :

**Tableau III .2 : Les propriétés physiques de la diatomites**

| | Brute | Diatomite calciné | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | DT BR | DT200 | DT400 | DT600 | DT800 | DT1000 |
| Couleur | Blanche  | Beige  | Marron clair  | Beige rose clair  | Beige rose foncé  | Beige clair  |
| Densité apparente ($kg/m^3$) | 0.396 | 0.425 | 0.429 | 0.372 | 0.324 | 0.308 |
| Surface spécifique (cm2/g) | 4767 | 4733 | 4596 | 3219 | 3669 | 3785 |
| Granulométrie ($\phi 50$) | 20 | 27 | 60 | 180 | 170 | 170 |
| PH | 6.75 | 7.98 | 7.74 | 9.16 | 10.91 | 11.17 |



**Figure III.1 aspect général des diatomites brutes et calcinées.**

### III.2.2 Masse volumique

Les masses volumiques apparentes et absolues de la diatomite brute et calcinées sont présentées dans la figure III . 2et figure III .3.

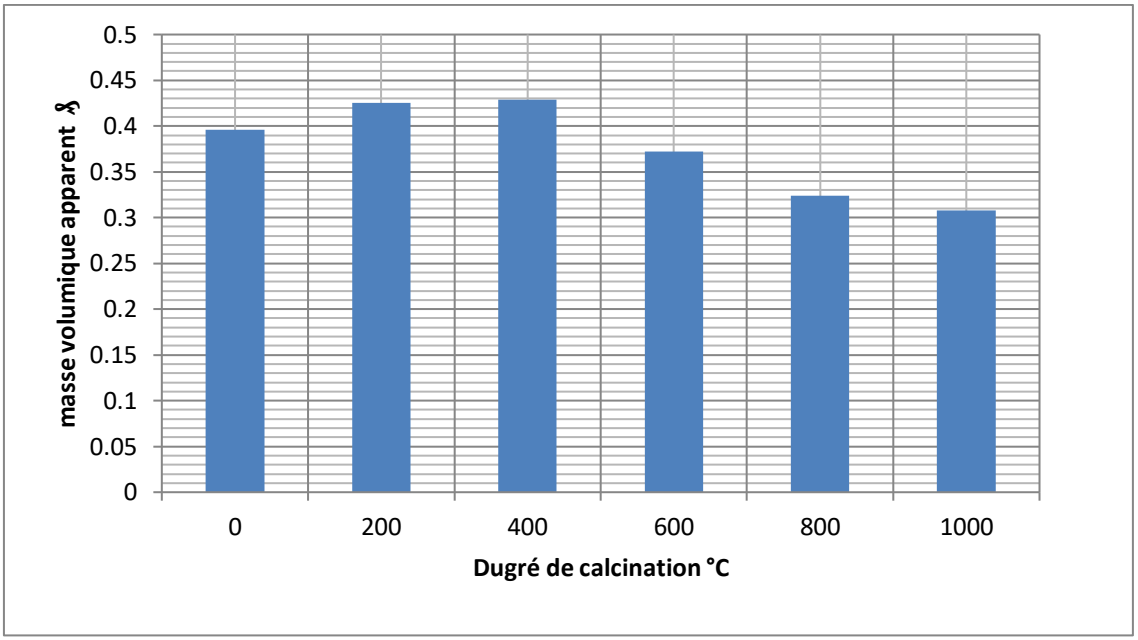



**Figure III.2: La courbe masse volumique apparente**

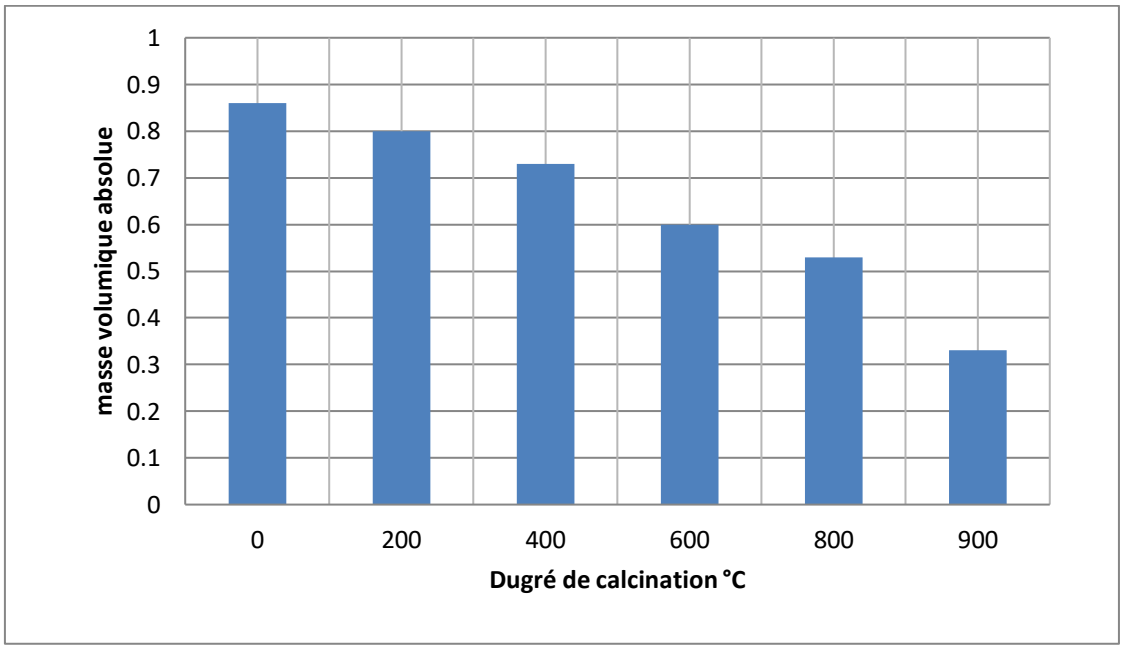



**Figure III .3: La courbe masse volumique absolue**

D'après ces figures III .2 et III. 3, on remarque que la densité diminue lorsque, la température de calcination augmente. Ceci est due à la transformation de la microstructure qui une augmentation de la température entraine une augmentation du volume poreux.

### III.2.3 Granulométrie :

L'analyse granulométrique des diatomites calcinées à différentes températures sont présentées sur la figure III .4. L'analyse montre que 50% des particules ont un diamètre inférieur à 10µm. Cette argile ne contient pas d'éléments grossiers car elle a un diamètre dans l'ensemble inférieur à 90 µm. Cette propriété est à l'origine une forte activité pouzzolanique.

La courbe sédimentométrie du l'échantillon dans la figure III. 4, qui présente la distribution de la taille moyenne des particules de diatomite en fonction des tamisât. l'analyse granulométrique réalisée sur la poudre calcinée de diatomite , a montré que pour la diatomite brute environ 93 % des grains ont une taille moyenne de 75 microns. Aussi, un traitement de 200 et 400°C n'affectent que légèrement la taille des particules car la taille est respectivement l'ordre de 80 et 85microns (Tableau III.3 ).

Néanmoins, un traitement de 600°C d'augmenter considérablement le diamètre moyenne. En effet, la taille des varient de 170 et 190 microns respectivement pour les températures de 600, 800 et 1000°C.

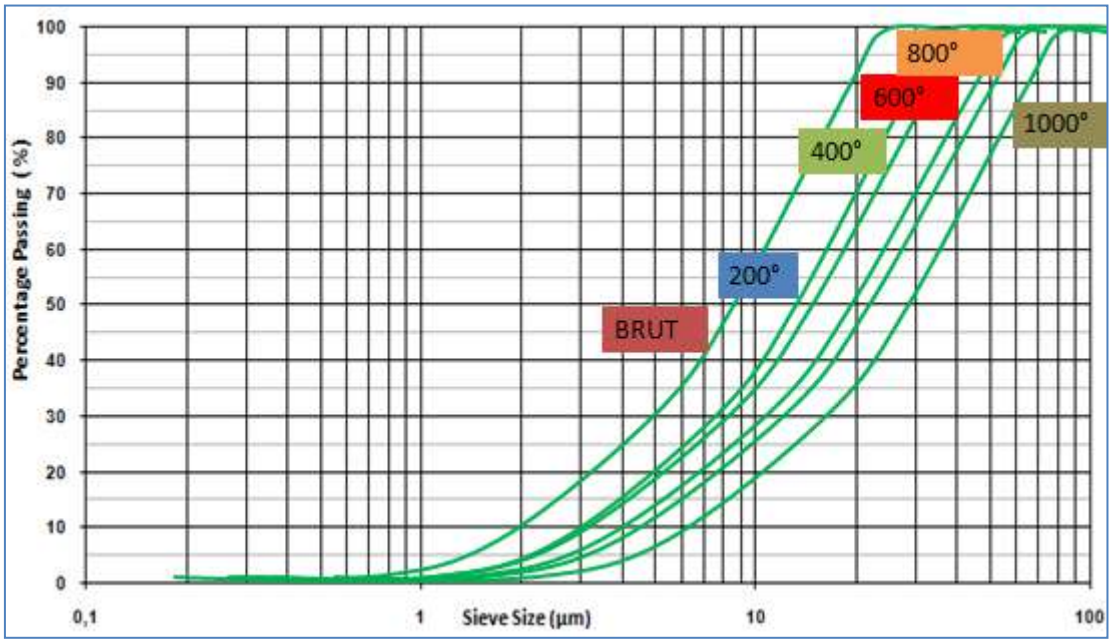



**Figure III.4 : La courbe sédimentométrie**

À partir de cette courbe *(*Figure III.4 *)*, la distribution granulaire est bien étalée

| T (mn) | 0° c | | 200° c | | 400° c | | 600° c | | 800° c | | 900° c | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D (µm) | d (g/cm³) | D (µm) | d (g/cm³) | D (µm) | d (g/cm³) | D (µm) | d (g/cm³) | D (µm) | d (g/cm³) | D (µm) | d (g/cm³) |
| 0,5 | 0,073 | 1,0220 | 0,074 | 1,0210 | 0,078 | 1,0180 | 0,078 | 1,0185 | 0,071 | 1,0200 | 0,072 | 1,0190 |
| 1 | 0,053 | 1,0205 | 0,054 | 1,0185 | 0,055 | 1,0180 | 0,055 | 1,0180 | 0,052 | 1,0175 | 0,051 | 1,0180 |
| 2 | 0,038 | 1,0200 | 0,039 | 1,0180 | 0,039 | 1,0175 | 0,039 | 1,0175 | 0,037 | 1,0170 | 0,037 | 1,0170 |
| 5 | 0,024 | 1,0180 | 0,024 | 1,0165 | 0,025 | 1,0170 | 0,025 | 1,0155 | 0,023 | 1,0165 | 0,024 | 1,0140 |
| 10 | 0,017 | 1,0165 | 0,017 | 1,0155 | 0,017 | 1,0155 | 0,018 | 1,0125 | 0,017 | 1,0120 | 0,017 | 1,0130 |
| 20 | 0,012 | 1,0155 | 0,012 | 1,0140 | 0,012 | 1,0150 | 0,014 | 1,0060 | 0,013 | 1,0045 | 0,013 | 1,0040 |
| 40 | 0,009 | 1,0145 | 0,009 | 1,0130 | 0,009 | 1,0135 | 0,010 | 1,0020 | 0,009 | 1,0010 | 0,009 | 1,0020 |
| 80 | 0,006 | 1,0130 | 0,006 | 1,0125 | 0,006 | 1,0125 | 0,007 | 1,0015 | 0,007 | 1,0010 | 0,007 | 1,0010 |
| 240 | 0,004 | 1,0105 | 0,004 | 1,0100 | 0,004 | 1,0010 | 0,004 | 1,0010 | 0,004 | 1,0010 | 0,004 | 1,0010 |
| 1440 | 0,002 | 1,0020 | 0,002 | 1,0070 | 0,002 | 1,0006 | 0,002 | 1,0010 | 0,002 | 1,0010 | 0,002 | 1,0010 |

**Tableau III.3 Analyse granulaire de poudre diatomite calciné**

## III .2.4 Surface spécifique :

La surface spécifique obtenue par Blaine et par Bleu méthylène sont présentée dans les figure III . 5 et figure III . 6 suivantes:

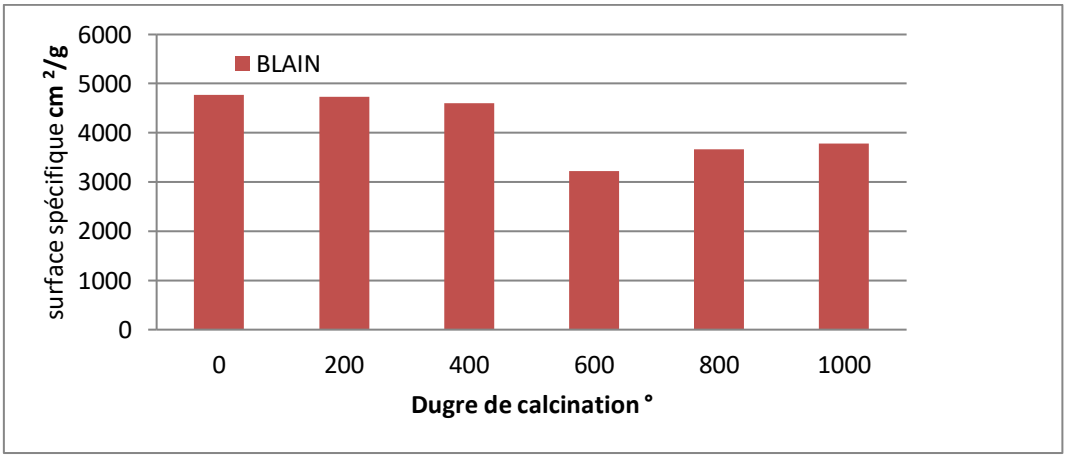



**figure III . 5 la surface spécifique de Blaine de diatomite brute et calcinée**

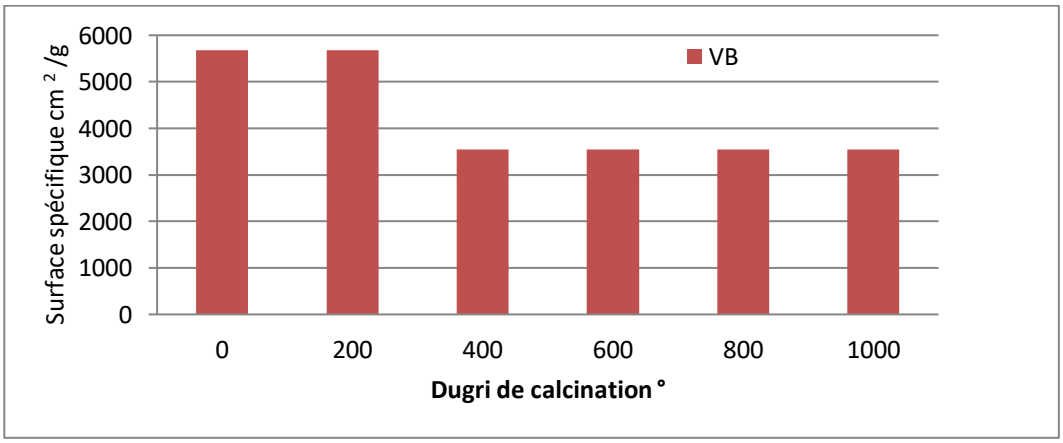



**figure III . 6 : la surface spécifique par essai VB de diatomite brute et calcinée**

D'après les figures III . 5 et figure III .6 , On remarque que la surface spécifique diminue lorsque, la température de calcination augmente. Cette diminution est due l'agrandissement des pores après l'activation thermique **.** Ce phénomène a déjà été observé par Khraisheh et autres à une température de 980°C.

## III.3 caractérisation des mélanges à l'état frais

Cette partie présente principalement le comportement à l'état frais des mortiers à maniabilités plastiques formulés avec et sans superplastifiant. Pour les deux formulations, on détermine respectivement les quantités d'eau et le besoin en superplastifiant, et on évalue, par la suite, le temps début et de fin de prise.

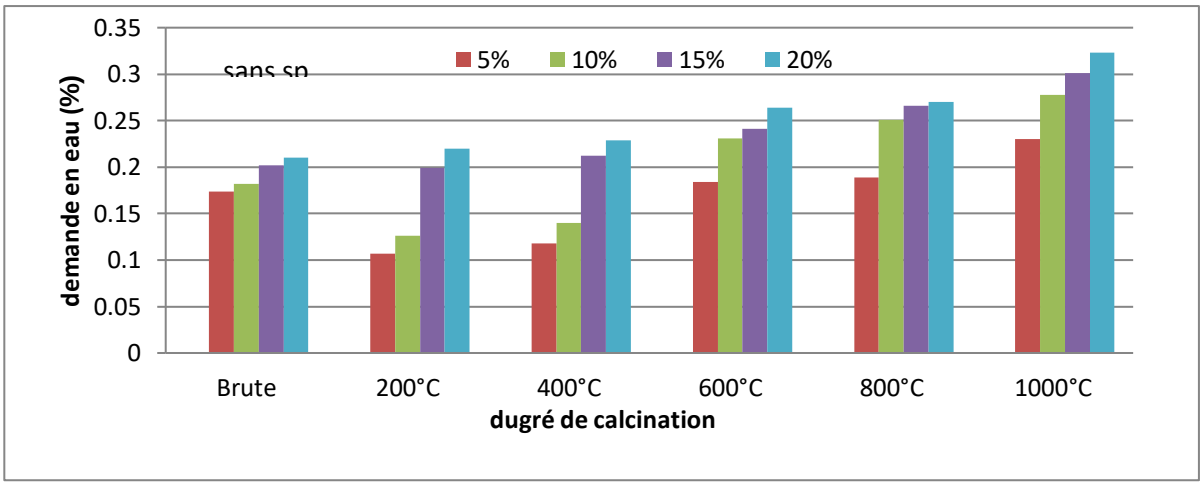
### III.3.1 Besoin en Eau des mortiers formulés sans SP

La figure III . 7 donnent les différents pourcentages de besoin en eau nécessaires pour obtenir des mortiers plastiques. A maniabilité constante, le remplacement partiel du ciment par divers dosage en diatomite brute ou calcinée a entraîné une forte augmentation de la demande en eau par rapport à celle du mortier témoin. En effet, le rapport Eau/Liant est toujours supérieur à 0.5. En effet, les mortiers formulés avec un dosage de 5% de diatomite brute enregistrent un rapport E/L de 0.65. Cela est dû, vraisemblablement, au pouvoir absorbant d'eau qui résulte de la surface spécifique élevée et de la porosité de la diatomite.

Aussi, la demande en eau devient plus importante lorsque la température de calcination est supérieure ou égale à 800°C. Ceci est dû aux particules de diatomite qui deviennent plus poreuses ce qui emprisonne une grande partie de l'eau de gâchage.

Aussi, plus le dosage en diatomite augmente plus la demande en eau est élevée.

Ceci peut être soit bénéfique ou néfaste sur certaine propriétés à l'état durci.




**figures III . 7 : Evolution de la demande en eau en fonction du traitement et du dosage de diatomite (brute,200°,400°,600°,800°,1000°)**

### III .3.2 Besoin en superplastifiant des mortiers formulés avec Eau/Liant constant

Afin d'éviter la quantité accrue d'eau dans les mortiers à base de diatomite, il a été décidé d'incorporer un superplastifiant haut réducteur d'eau à base de polynaphtalène. Les différents pourcentages de besoin en superplastifiant nécessaires pour obtenir un mortier plastique ayant un rapport Eau/Liant égale à 0.35 pour les pâtes avec diatomite brute et calcinées sont données dans la figure III .8 .

La figure illustre que plus la température de calcination de la diatomite est élevée plus le dosage en superplastifiant augmente. A titre indicatif et pour un dosage de 10% en diatomite, le besoin de superplastifiant pour les mortiers a diatomite calciné à 600°C est 15fois supérieur à celui du mortier à diatomite brute.

Ce besoin en superplastifiant devient plus important pour des dosages de 15 % de diatomite calcinées à des températures supérieures ou égales à 800°C.

A titre d'exemple, Le besoin de superplastifiant dans les mortiers a diatomite calciné à 1000°C est de 68% supérieur à celui du mortier à diatomite brute.

Cela est dû au grand pouvoir absorbant d'eau de la diatomite qui résulte de l'augmentation de sa porosité.

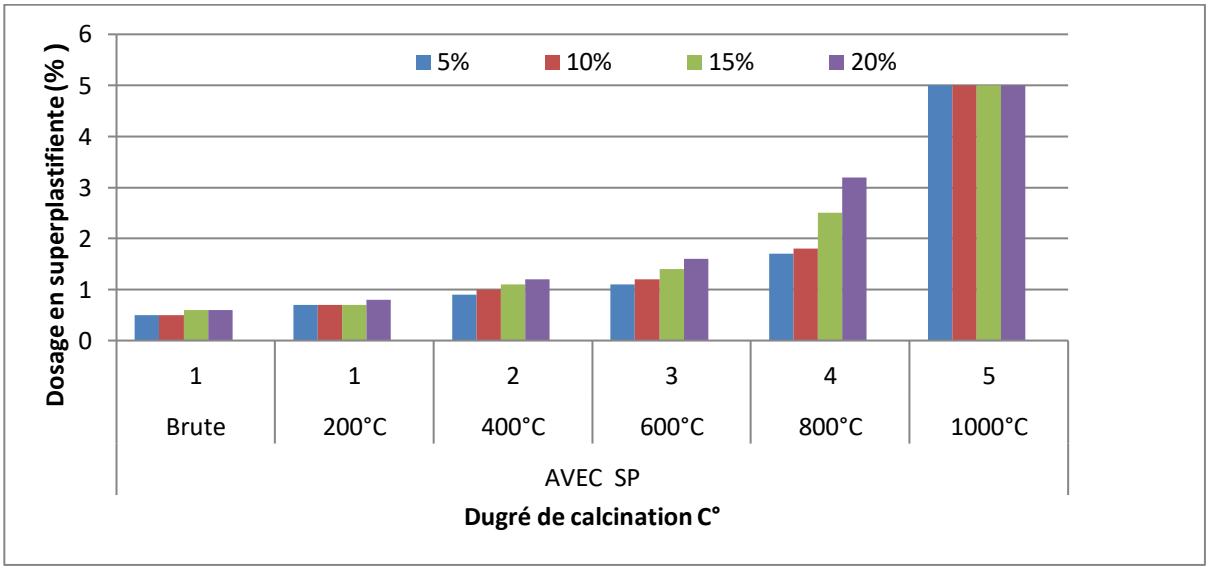



**Figure III .8 : Evolution de la demande en superplastifiant en fonction du traitement et du dosage de diatomite (brute , 200°,400°,600°,800°,1000°)**

D'autre part, cette figure montre que, quelque soit la température de calcination, le dosage croissant en diatomite entraine une augmentation de la demande en superplastifiant. Ceci signifie que plus la quantité de fines de diatomite est croissante plus le mélange devient plus ferme, ce qui nécessite plus d'adjuvant pour assurer un état plastique.

### III .3.3 Evolution du temps de prise

Les figures III .9 à figure III .14 présentent l'effet de la température de calcination et du dosage en diatomite sur les temps de début et de fin de prise. En fonction du rapport Eau/liant, variable ou fixe, on constate deux comportements distincts comparativement au mortier ordinaire, qui possède les temps de début de prise et de fin prise de 120 et 250 min respectivement.

Pour les formulations avec rapport Eau/liant variable, la prise de l'ensemble des mortiers de diatomite brute ou calcinée est beaucoup plus lente que le mortier ordinaire. On remarque que plus le pourcentage de diatomite augmente et plus la température de calcination est élevée plus le temps de prise est élevé. Ceci est du à la grande finesse de la diatomite qui nécessite une grande quantité d'eau de gâchage, ce qui minimise le degré d'hydratation des grains de ciment et par conséquent entraîne une augmentation de leurs temps de prise d'où un effet retardateur de prise.

En effet, pour une température de calcination de 600°C, le temps de début de prise enregistré pour mortier avec 5, 10,15 et 20% de diatomite est de 110, 165, 180 et 190 minutes respectivement. Tandis que le temps de fin de prise de ces mêmes mortiers est de 280, 295, 305 et 340 minutes respectivement.

Aussi, l'intervalle entre le début et la fin de prise est plus large pour les mortiers de diatomite par rapport à celui du mortier ordinaire. Ce long temps de durcissement est dû à la rétention d'eau par la structure poreuse de la diatomite, ce qui minimise le degré d'hydratation des grains de ciment.

Pour les mortiers formulés avec superplastifiant, la prise de l'ensemble des mortiers de diatomite est plus rapide que le mortier ordinaire. En effet, pour une température de calcination de 600°C, le temps de début de prise enregistré pour mortier avec 5, 10,15 et 20% de diatomite est de 80, 85, 180 et 170 minutes respectivement. Tandis que le temps de fin de prise de ces mêmes mortiers est de 240, 255, 275 et 280 minutes respectivement.

Néanmoins, lorsque la température de calcination de la diatomite dépasse 800°C, un retard de prise important est constaté. Cela est dû vraisemblablement à la diminution de la surface spécifique qui réduit la surface de contact avec les particules de ciment.

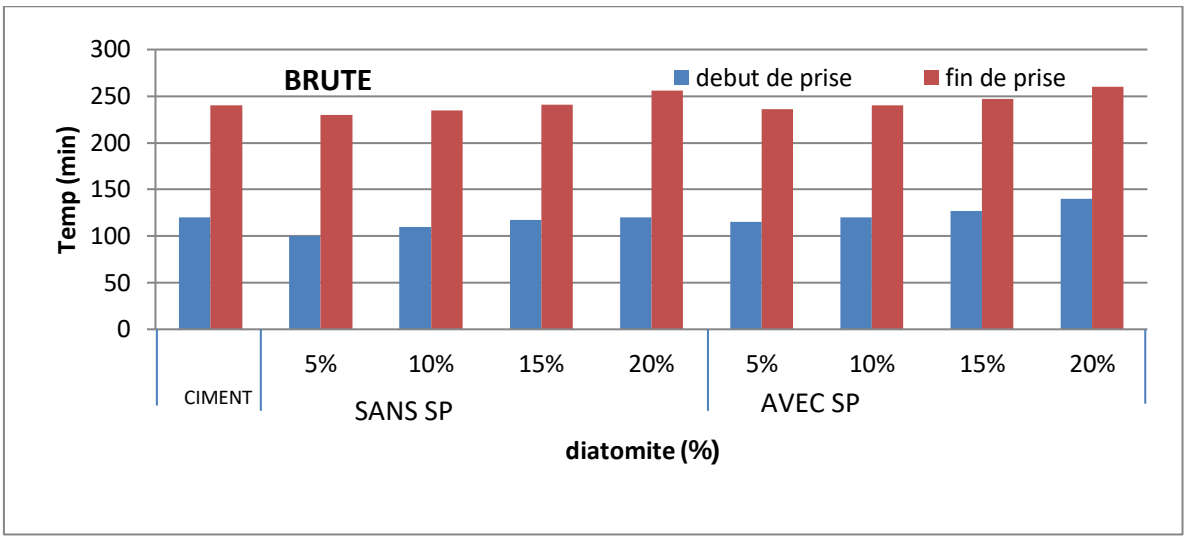



**Figure III .9 :Effet de dosage de diatomite brute sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment**

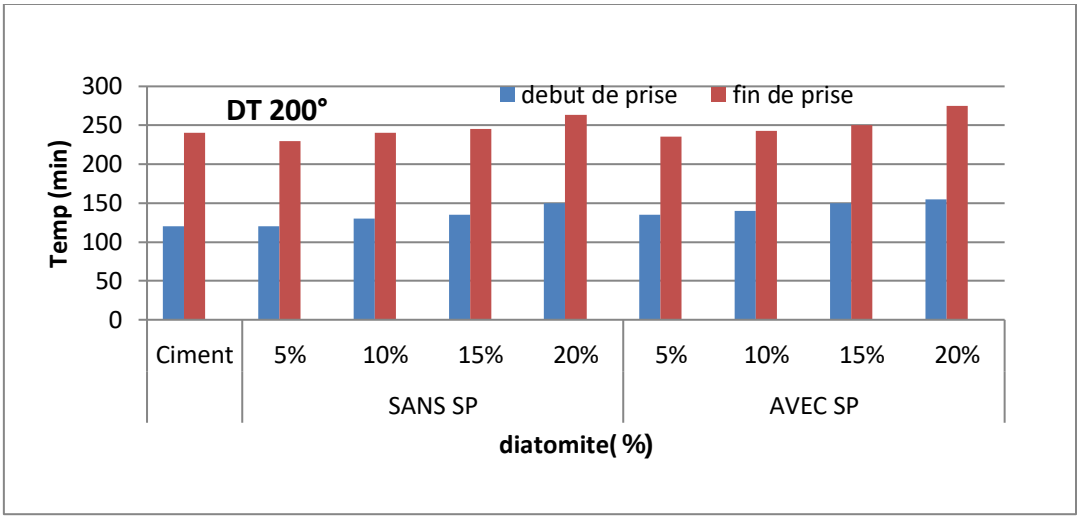



**Figure III .10: Effet de dosage de diatomite calcinée a 200° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment**

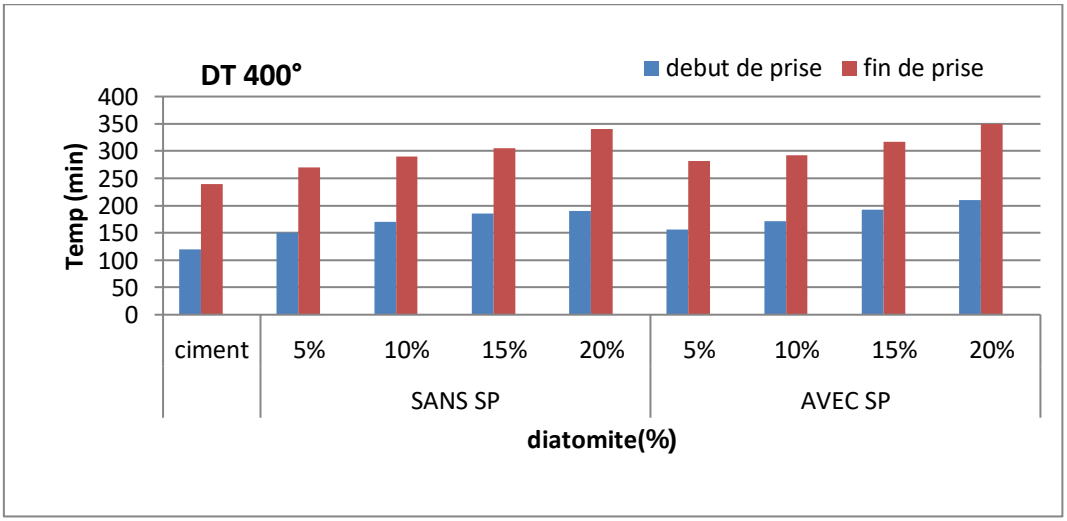



**Figure III .11 : Effet de dosage de diatomite calciner a 400° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment**

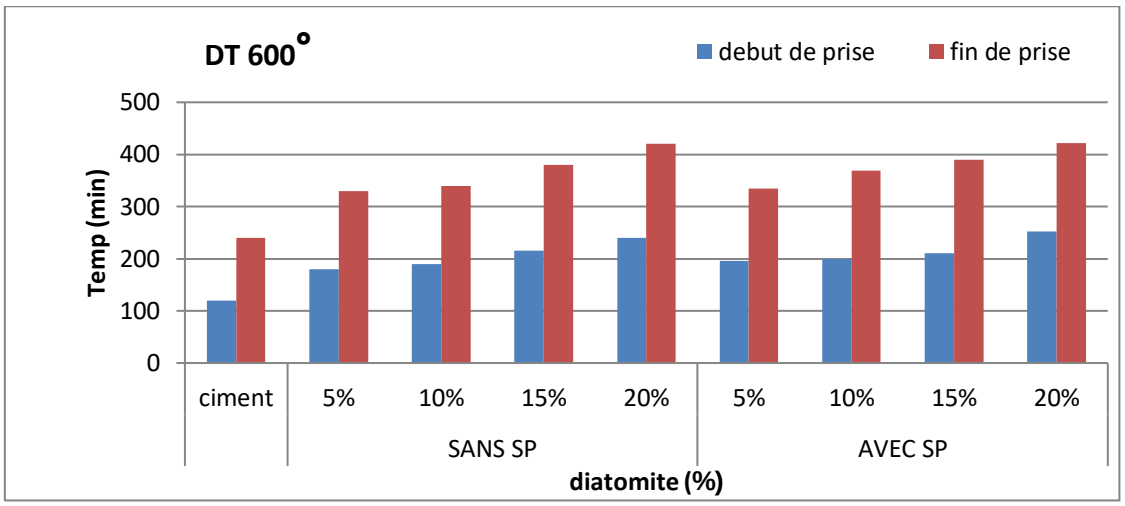



**Figure III .12 : Effet de dosage de diatomite calciner a 600° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment**

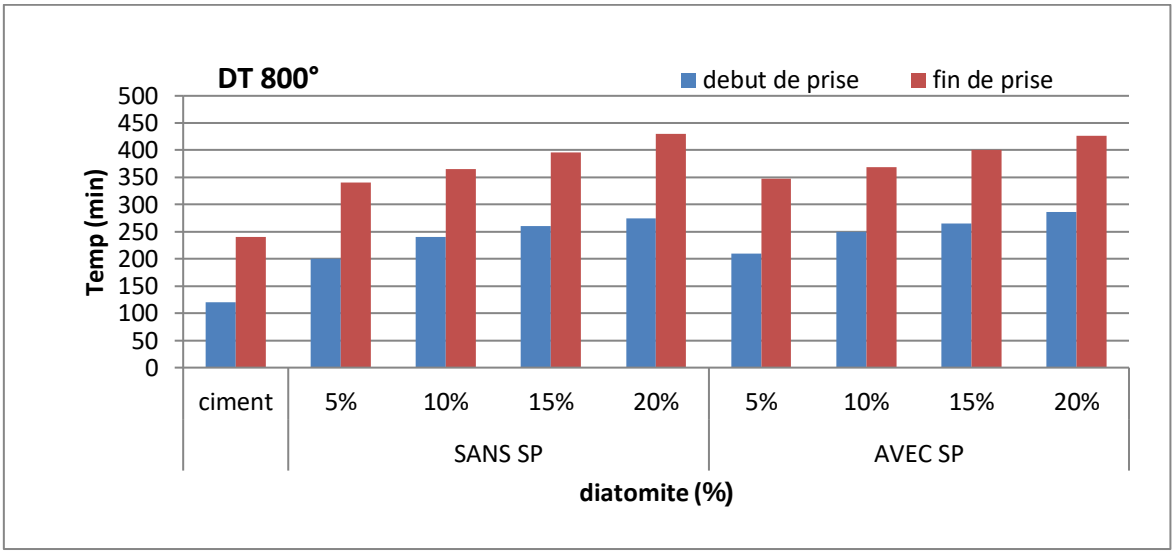



**Figure III .13 : Effet de dosage de diatomite calciner a 800° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment**

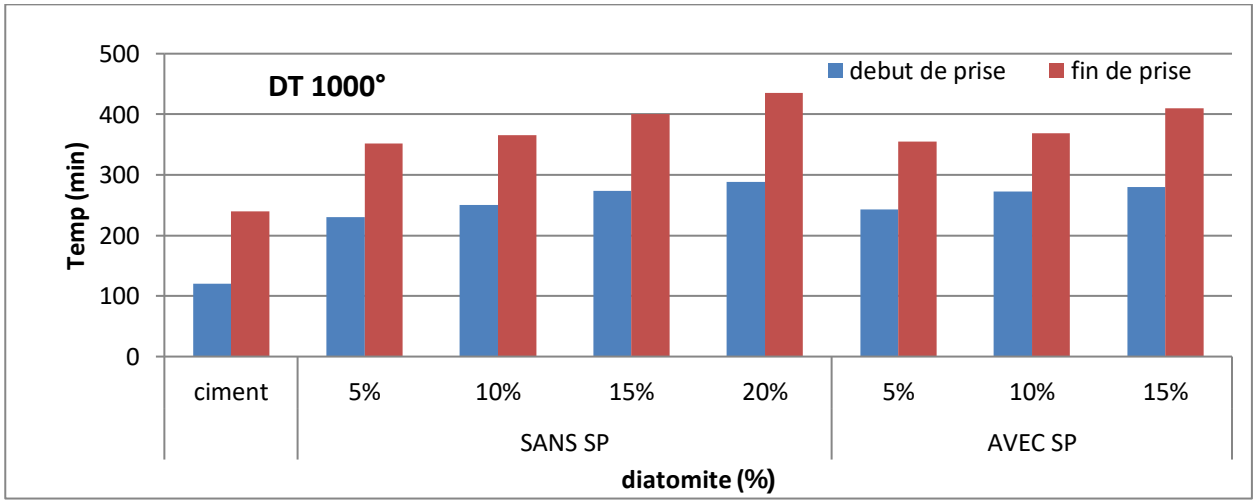



**Figure III .14 : Effet de dosage de diatomite calciner a 1000° sur le début et la fin de prise des pâtes de ciment**

**Tableau III .4: début et la fin de prise de pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite brute.**

| | **Diatomite Brute** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| Diatomite (%) | **5%** | **10%** | 15% | **20%** | 5% | 10% | 15% | 20% |
| SP (%) | - | - | - | - | 0.5 | 0 .5 | 0 .6 | 0.6 |
| Eau/Liant | 0.87 | 0.91 | 1.01 | 1.05 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Début de prise (min) | 100 | 110 | 117 | 120 | 115 | 120 | 127 | 140 |
| La fin de prise (min) | 230 | 235 | 241 | 256 | 236 | 240 | 247 | 260 |

**Tableau III.5 : début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 200°**

| | **DT 200°** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| Diatomite (%) | **5%** | **10%** | 15% | **20%** | 5% | 10% | 15% | 20% |
| SP (%) | - | - | - | - | 0.7 | 0 .7 | 0 .7 | 0.8 |
| Eau/Liant | 0 .63 | 0.99 | 1.1 | 1.15 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Début de prise (min) | 120 | 130 | 135 | 150 | 135 | 140 | 150 | 155 |
| La fin de prise (min) | 230 | 240 | 245 | 263 | 235 | 243 | 250 | 275 |

**Tableau III .6 : début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 400°**

| | **DT 400°** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| Diatomite (%) | **5%** | **10%** | 15% | **20%** | 5% | 10% | 15% | 20% |
| SP (%) | - | - | - | - | 0.9 | 1 | 1.1 | 1.2 |
| Eau/Liant | 0.7 | 1 .06 | 1.14 | 1 .17 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Début de prise (min) | 150 | 170 | 185 | 190 | 156 | 172 | 192 | 210 |
| La fin de prise (min) | 270 | 290 | 305 | 340 | 282 | 292 | 317 | 350 |

**Tableau III .7 : début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 600°**

| | **DT 600°** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| Diatomite (%) | **5%** | **10%** | 15% | **20%** | 5% | 10% | 15% | 20% |
| SP (%) | - | - | - | - | 1.1 | 1.2 | 1.4 | 1.6 |
| Eau/Liant | 0.92 | 1.16 | 1.2 | 1.32 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Début de prise (min) | 180 | 190 | 215 | 240 | 196 | 200 | 210 | 252 |
| La fin de prise (min) | 330 | 340 | 380 | 420 | 334 | 369 | 390 | 422 |

**Tableau III .8: début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 800°**

| | **DT 800°** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| Diatomite (%) | **5%** | **10%** | 15% | **20%** | 5% | 10% | 15% | 20% |
| SP (%) | - | - | - | - | 1.7 | 1.8 | 2.5 | 3.2 |
| Eau/Liant | 0.92 | 1.25 | 1.33 | 1.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Début de prise (min) | 200 | 240 | 260 | 275 | 210 | 250 | 265 | 286 |
| La fin de prise (min) | 340 | 365 | 396 | 430 | 347 | 369 | 400 | 426 |

**Tableau III .9: début et la fin de prise du pâtes de ciment avec différentes E\C rations de diatomite calciner a 1000°**

| | **DT 1000°** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sans SP | | | | Avec SP | | | |
| Diatomite (%) | **5%** | **10%** | 15% | **20%** | 5% | 10% | 15% | 20% |
| SP (%) | - | - | - | - | 3 | 3.2 | 3.4 | 3.6 |
| Eau/Liant | 1.15 | 1.39 | 1.5 | 1.61 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Début de prise (min) | 230 | 250 | 274 | 288 | 243 | 272 | 280 | 296 |
| La fin de prise (min) | 352 | 365 | 400 | 435 | 355 | 369 | 410 | 430 |

## III.4 Caractérisation mélange à l'état durci

Cette partie présente l'effet de l'utilisation de superplastifiant et du rapport Eau/liant sur la densité et l'évolution des résistance à la compression des pâtes formulées avec un remplacement partiel du ciment par des dosages de 5, 10, et 20% de diatomites calcinées à des températures de 200, 400, 600 800 et 1000°C. On termine cette partie par l'évaluation de la pouzzolanité à travers la mesure de l'indice de résistance (IAR) qui indique le rapport de résistance entre les pâtes de ciment avec diatomite et celle de pâte de ciment seul.

### III .4.1 Résistance à la compression des pates du ciment avec superplastifiant

Les figures illustrent l'effet du superplastifiant sur les résultats de compression à l'âge de 3, 7, 14 et 28 jours pour des éprouvettes en pâte de ciment seul et des éprouvettes formulées avec un remplacement partiel du ciment par des dosages de 5, 10, et 20% de diatomites. Ces diatomites ont été calcinées à des températures de 200, 400, 600 800 et 1000°C.

L'histogramme de la figure III . 15 à figure III . 20 présente l'effet de l'introduction de superplastifiant (rapport Eau/Liant) sur les résistances en compression des pâtes de ciments incorporant de diatomite traités par différents degrés de calcination. D'une part, les résultats obtenus montrent que la résistance à la compression des pâtes de ciment augmente en fonction de l'âge des éprouvettes.

D'autre part et d'après l'allure générale de cette figure, on constate clairement que la calcination de la diatomite à une température de **600°C** donne les meilleures résistances, par rapport aux pâtes de ciment seul ou aux autres mortiers formulés avec des diatomites calciné de 800 et 1000°C.

En effet, pour un dosage de 5, 10, 15, 20% la résistance de pâte de ciment avec diatomite calcinés à **600°C** est amélioré respectivement par 99 .93%, 120.06%, 87 .86% , et 97 .19% par rapport au pâte de ciment seul.

Cette amélioration des résistances est due à l'effet pouzzoloniqes qui est confirmée par plusieurs chercheurs qui ont trouvé que l'introduction de la diatomite calcinée permet d'améliorer les propriétés mécaniques.

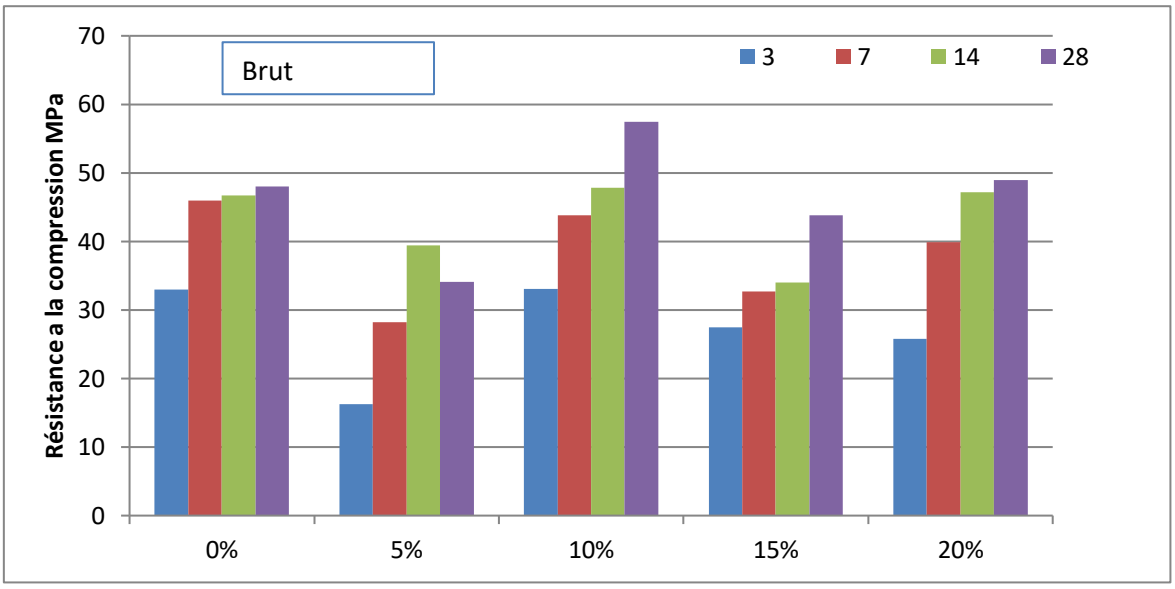



**Figure III . 15 :influence de l'introduction du superplastifiant et du dosage des diatomites calcinées ou non sur l'évolution de la résistance à la compression**

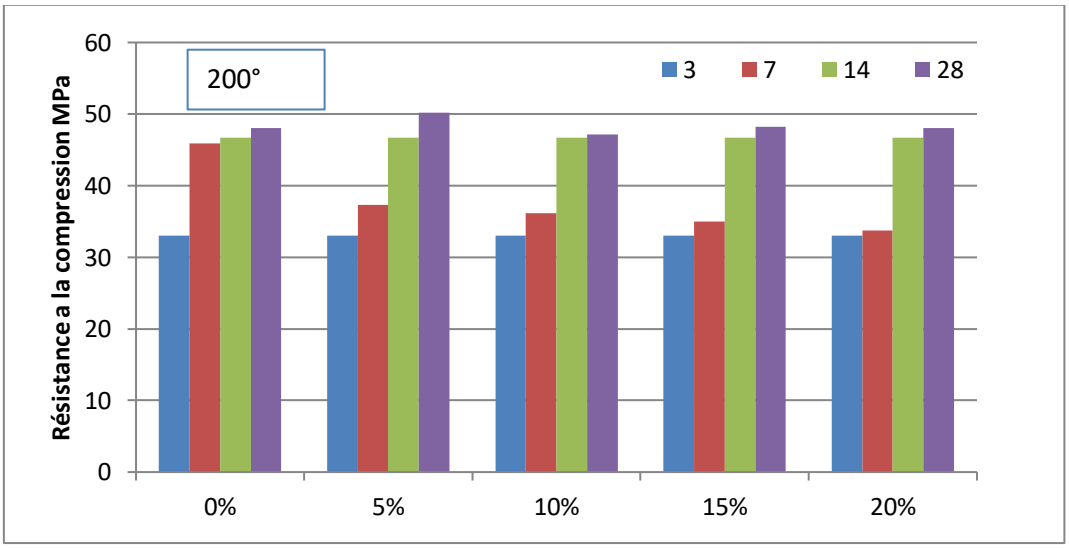



**Figure III . 16: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 200°C**

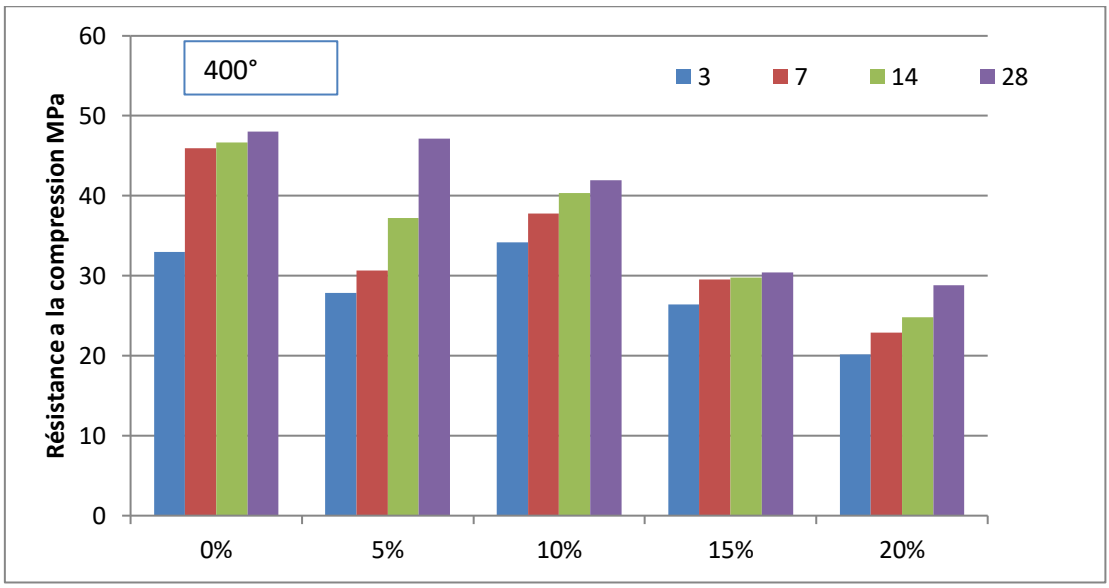



**Figure III . 17: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 400°C**

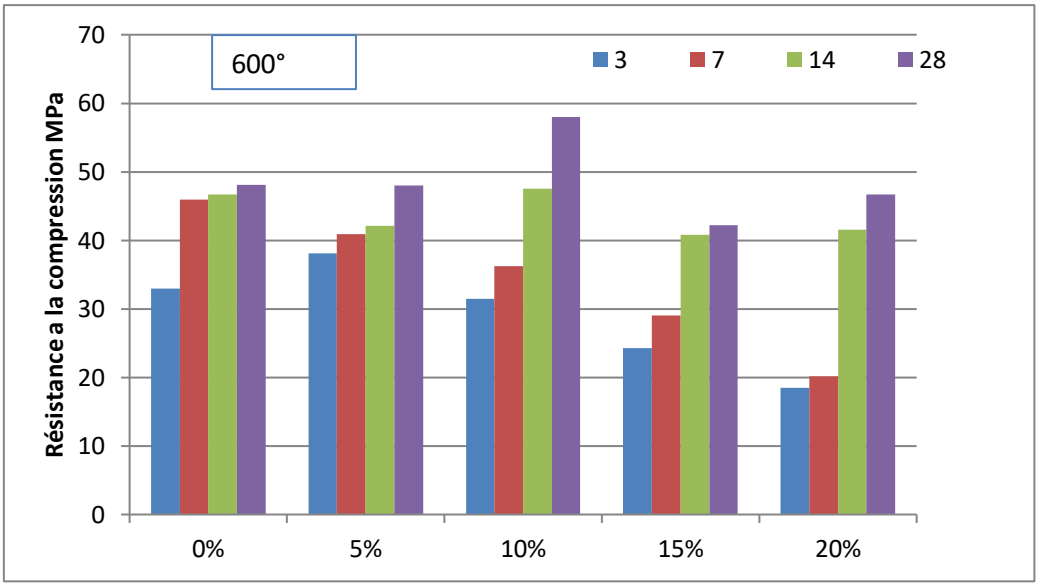



**Figure III . 18: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 600°C**

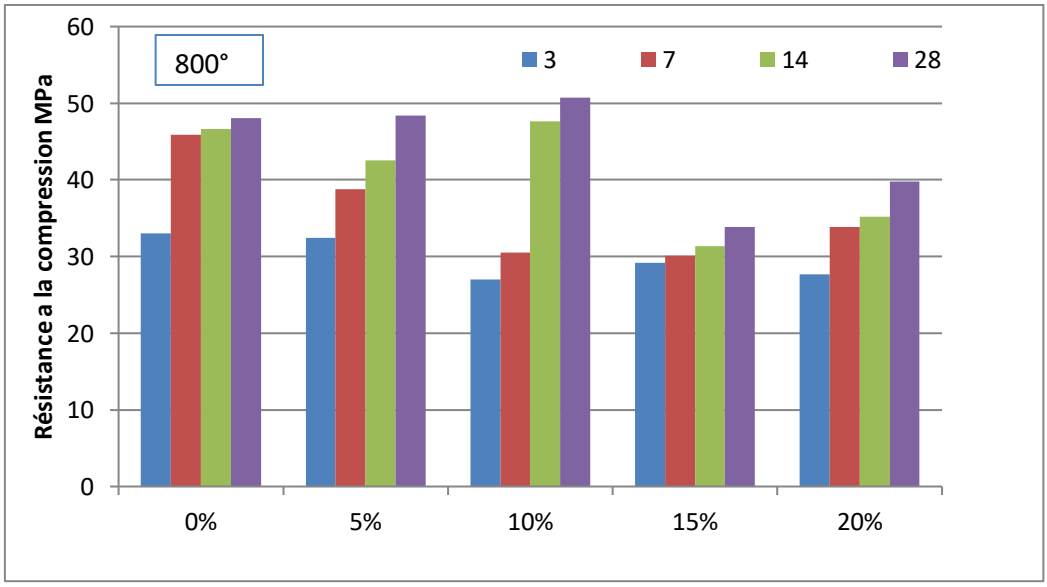



**Figure III . 19: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 800°C**

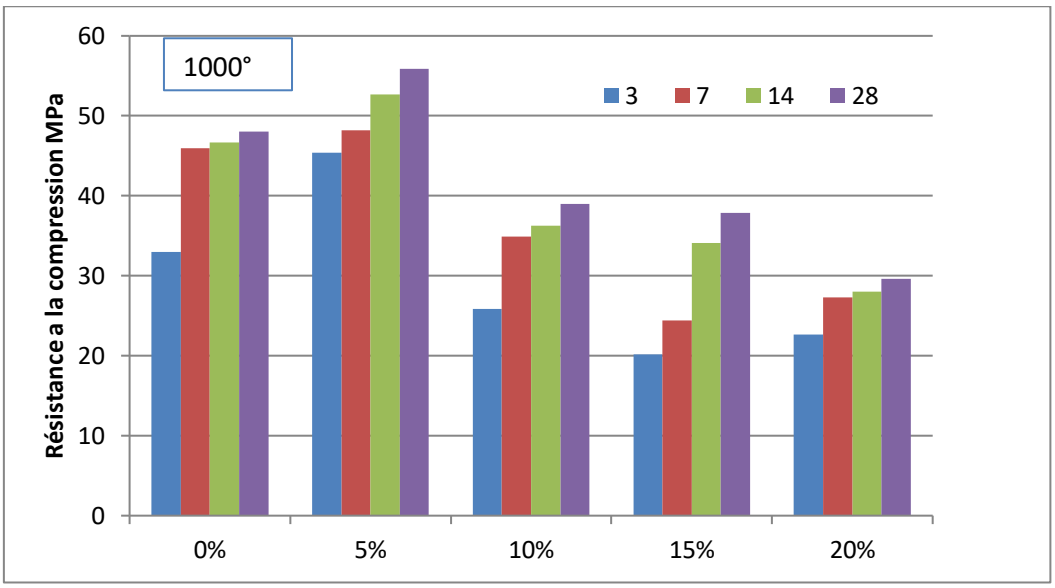



**Figure III. 20 Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 1000°C**

### III .4.2 Résistance à la compression des pates du ciment sans superplastifiant

Les figures illustrent l'effet de l'augmentation du rapport Eau/liant sur les résultats de compression à l'âge de 3, 7, 14 et 28 jours pour des éprouvettes en pâte de ciment seul et des éprouvettes formulées avec un remplacement partiel du ciment par des dosages de 5, 10, et 20% de diatomites. Ces diatomites ont été calcinées à des températures de 200, 400, 600 800 et 1000°C.

D'après les résultats obtenus dans les figures III . 21 à figures III . 26 , on remarque que sans utilisation d'adjuvant que le remplacement partiel du ciment par la diatomite réduit significativement la résistance à la compression. Cette diminution est due à utilisation des diatomite calciné qui absorbent beau d'eau au malaxage .

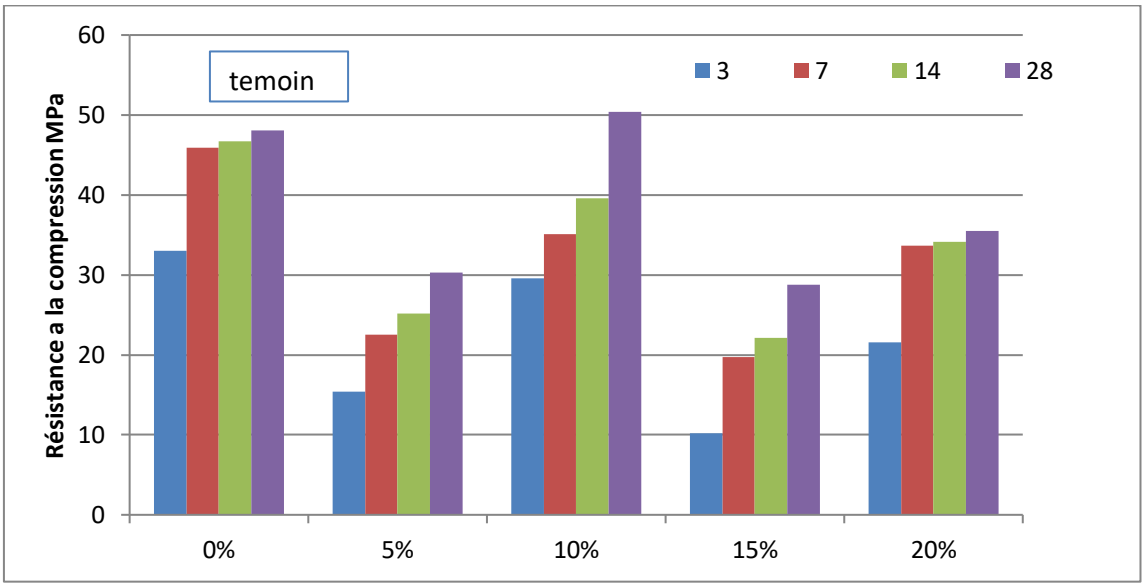



**Figure III . 21: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite brute**

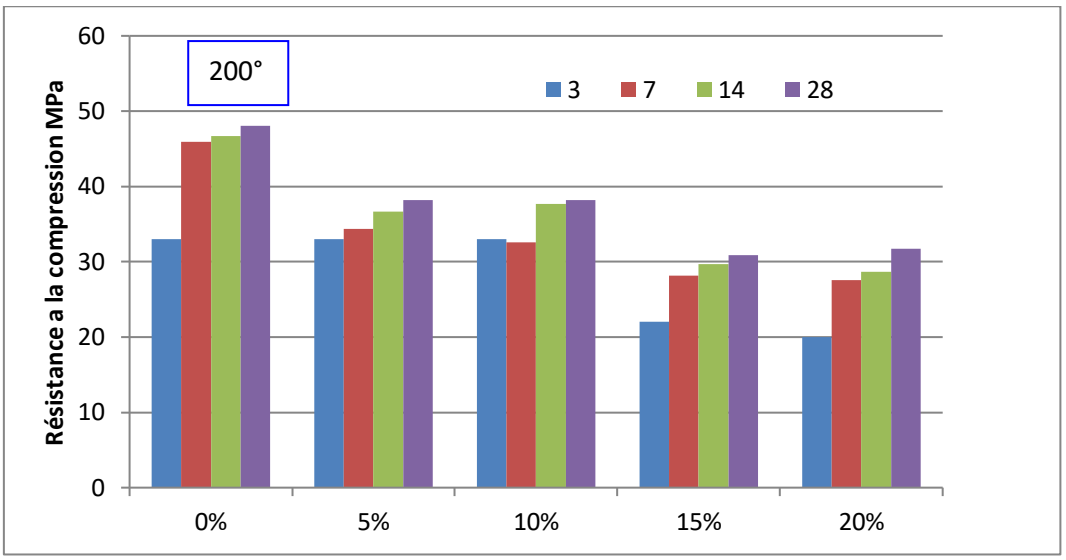



**Figure III . 22: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 200°C**

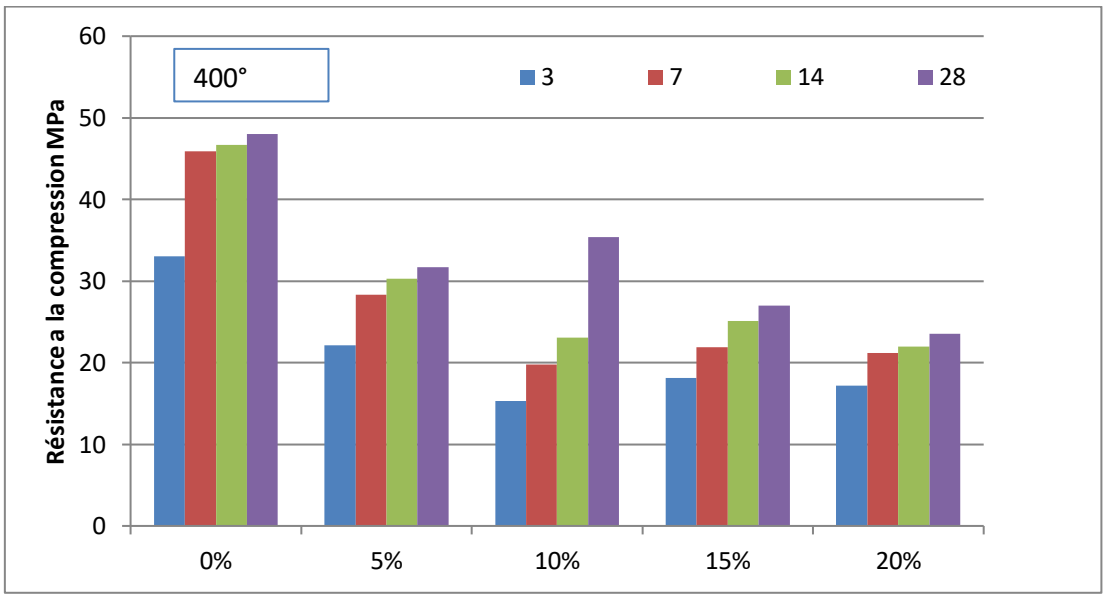



**Figure III .23 :Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 400°C**

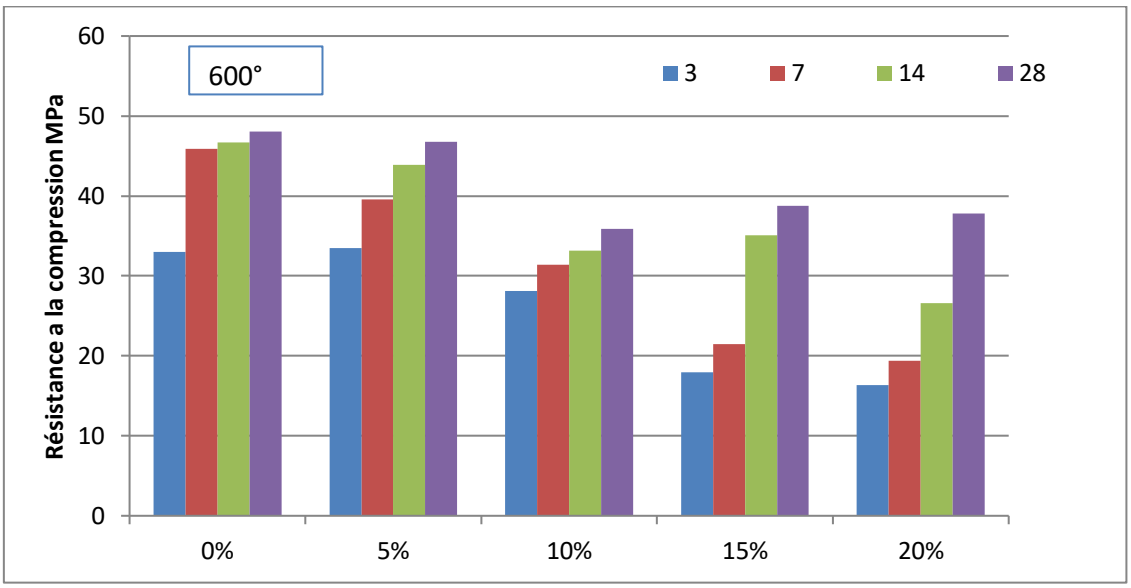



**Figure III . 24: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 600°C**

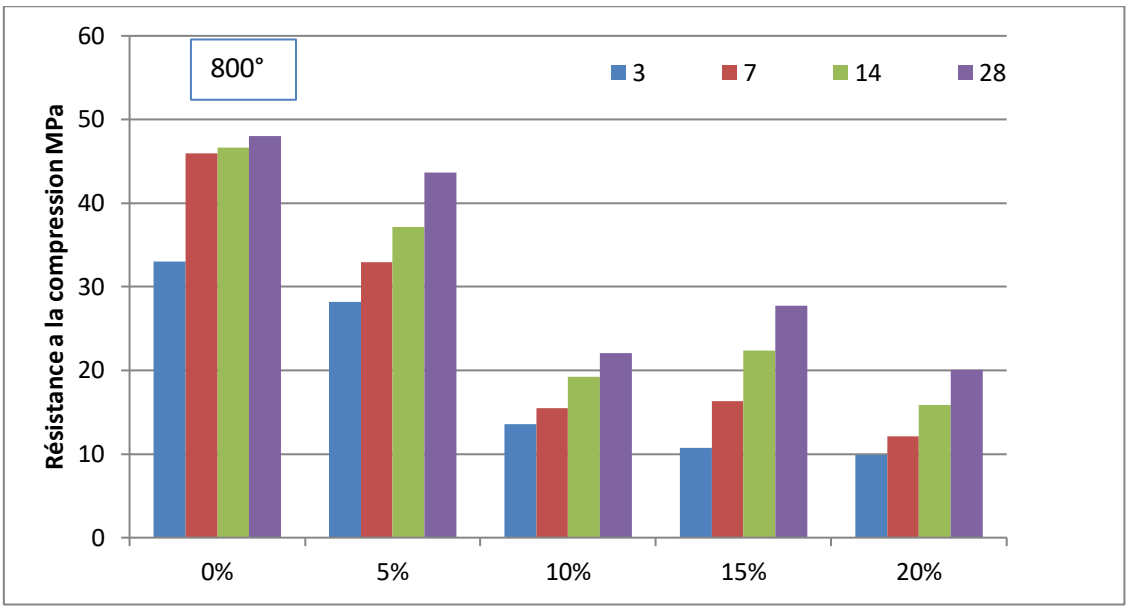



**Figure III . 25 :Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 800°C**

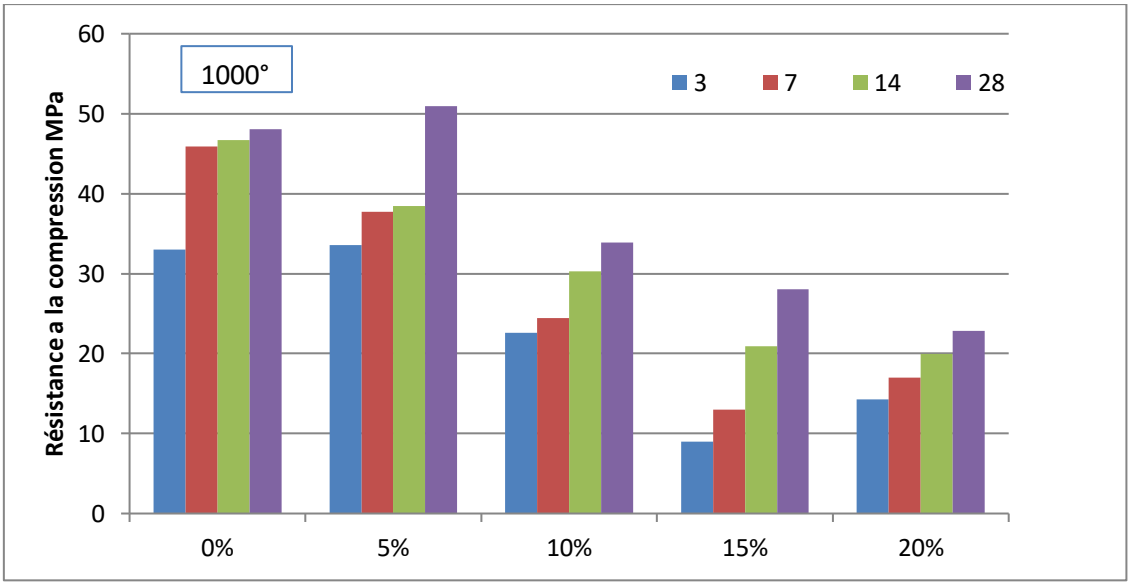



**Figure III .26: Résistance a la compression des pates de ciment avec diatomite calciné 1000°C**

### III .4.3 Estimation de la pouzzolanicité par l'indice d'activité de résistance

Afin d'évaluer les résistances mécaniques pour les deux cas des formulations avec et sans superplastifiant, nous allons présenter l'effet de la calcination de la diatomite sur son activité pouzzolanique en mesurant l'indice de résistance (IAR).

Cet indice est défini comme étant le rapport de résistance entre les pâtes de ciment avec diatomite et celle de pâte de ciment seul. Il est à noter que l'indice d'activité de résistance du ciment seul est pris comme témoin, et il est égale 1. Les résultats de l'indice d'activité de résistance (IAR) aux âges de7et 28 des pâtes de ciments avec diatomite brute et calcinée à 200, 400, 600, 800 et 1000°C, pour des pourcentages variant de 0 à 20%, sont présentés dans les Figures III.27 à Figure III. 30.

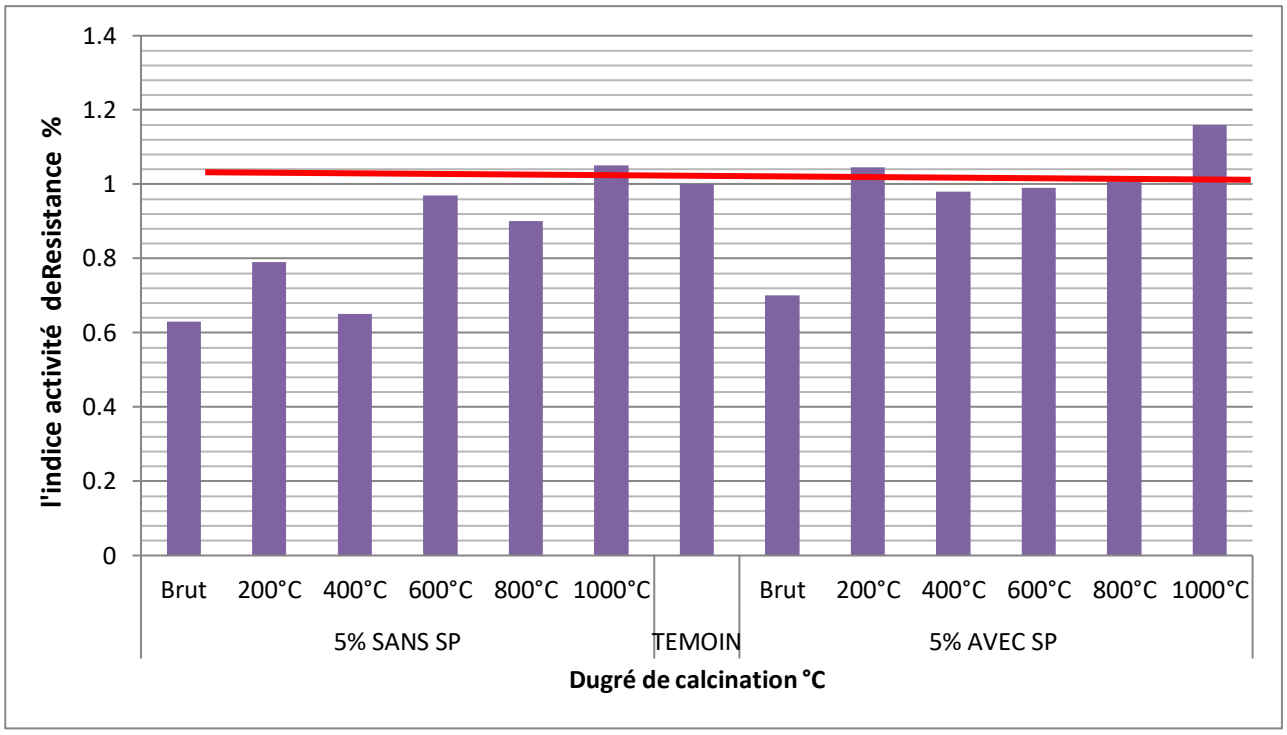



**Figure III . 27 : Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 5% diatomite.**

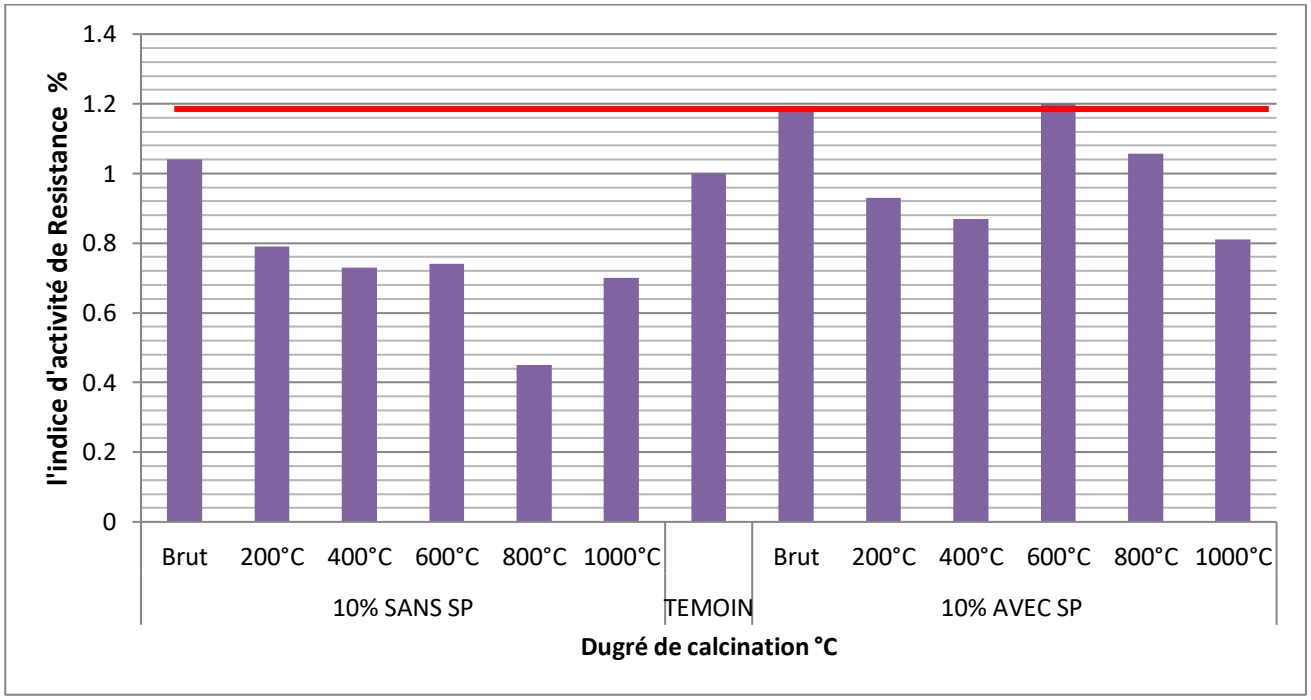



**Figure III . 28 : Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 10% diatomite.**

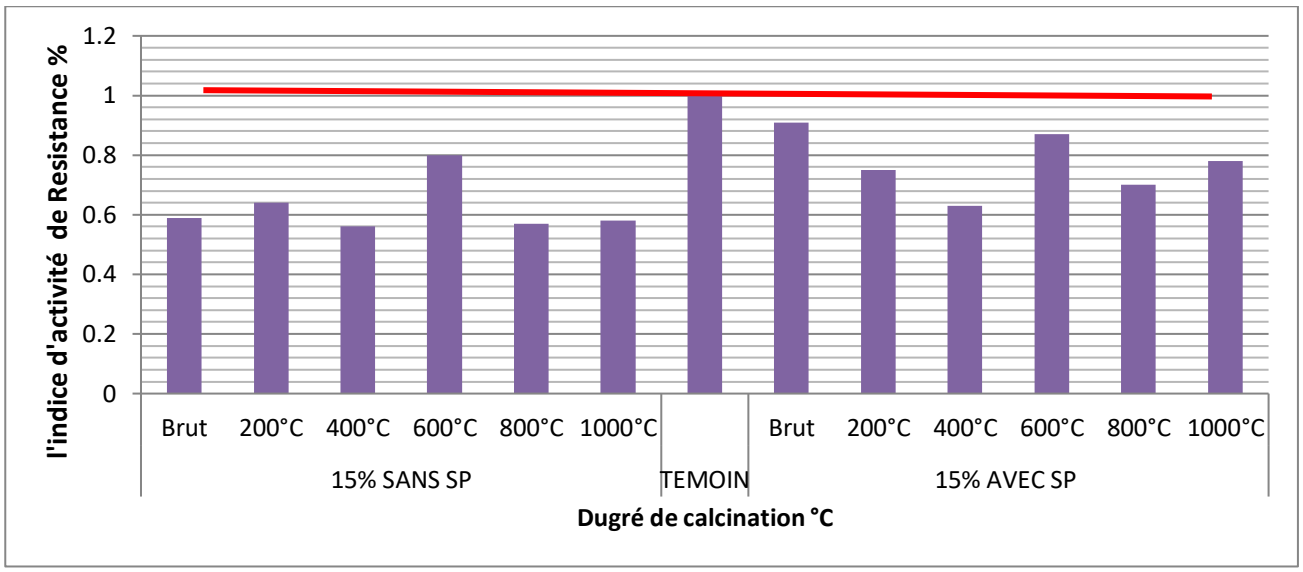



**Figure III .29 : Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 15% diatomite.**

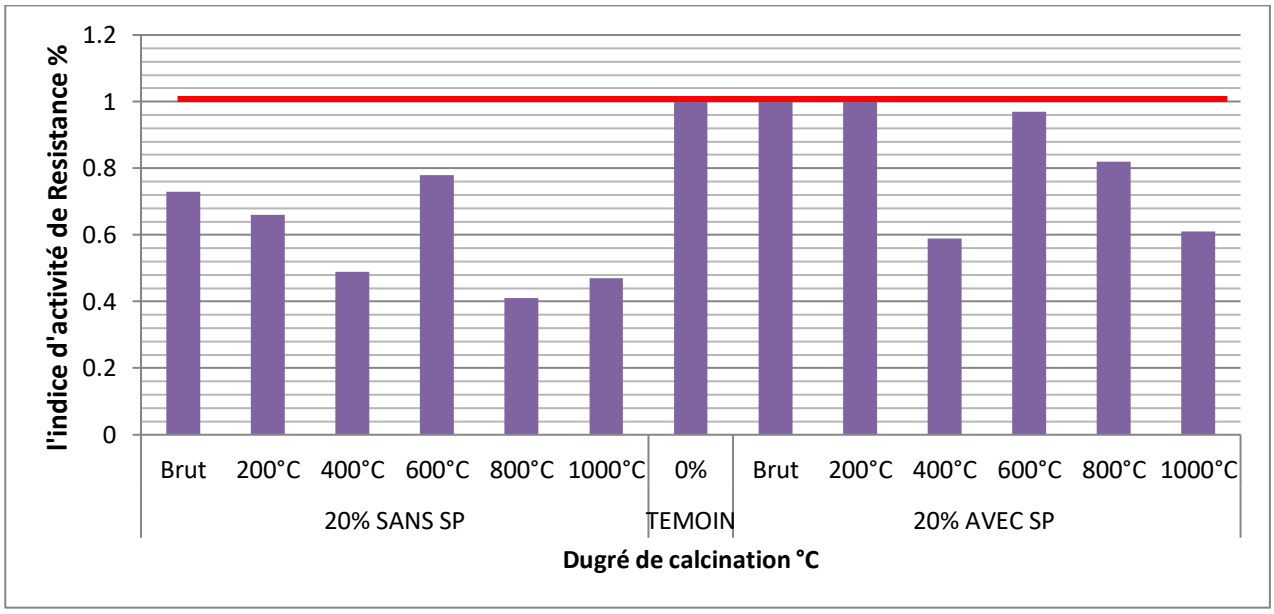



**Figure III .30: Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 20% diatomite.**

Pour le cas de l'utilisation d'un superplastifiant et quelque soit le dosage en diatomite, les résultats, des figures III.27 à Figure III. 30, montrent que l'indice d'activité de résistances des mortiers formulés avec diatomite brute ou calcinées jusqu'à la température de 600°C est toujours supérieur à 1. Aussi, l'activité pouzzolanique la plus élevée est observée pour les mortiers formulés avec 15% de diatomite calcinée à 600°C, car l'indice d'activité est de l'ordre de 1.3.

Par ailleurs, au-delà d'une température de calcination de 600°C, une chute libre de la résistance est observée. En effet, l'indice d'activité est de 0.8 et 0.75 pour les mortiers formulés avec des diatomites calcinées respectivement à 800 et 1000°C. Cela signifie que la propriété pouzzolanique de la diatomite diminue suite à la diminution de la finesse (surface spécifique) et à la modification de la microstructure.

D'autre part, pour les formulations des mortiers sans superplastifiant, les résultats montre une réduction de la résistance. Cela est dû au rapport Eau/Liant élevé et à l'absorption d'eau par la diatomite, ce qui entraîne une porosité accrue et réduit le taux d'hydratation du ciment.

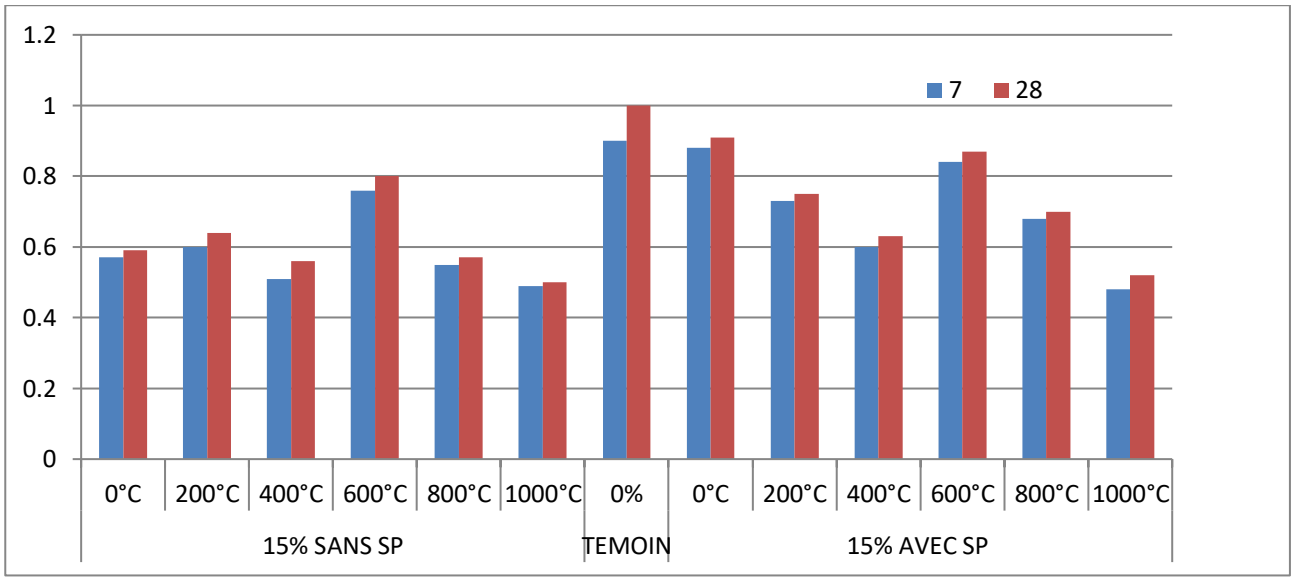



**Figure III . 31 : Indice d'activité de résistance des mortiers pour un dosage 15% diatomite.**

### III .4.4 Estimation de la pouzzolanicité par analyse thermogravimétrique

Pour tous les échantillons, on peut observer trois plages de températures où il y a de grande perte de masse. La première plage de 0-200°C correspondant à la perte de l'eau évaporable et celle liée aux CSH et ettringite. La seconde entre 400 et 600°C coïncide à des hydroxylation de la portlandite. Tandis que la troisième, entre 800 et 1000°C, relate une décarbonatation de la calcite.

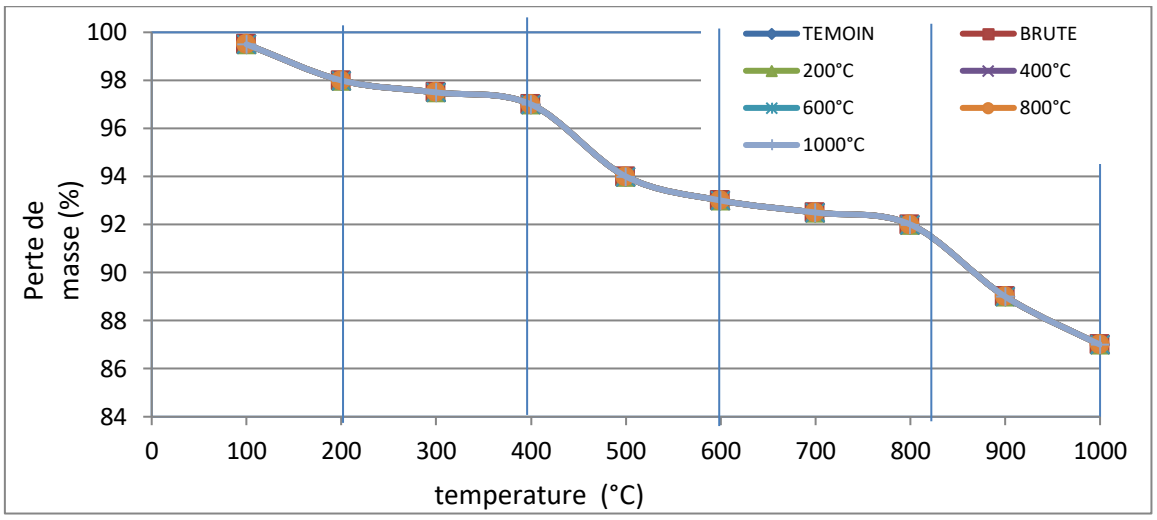



**Figure III .32 : Allure de la courbe d'analyse thermogravimétrique des pâtes de ciment avec diatomite calcinée ( pour un dosage de 10% en diatomite)**

L'effet combiné du dosage et de la température de calcination de la diatomite sur l'évolution des produits d'hydratation (consommation de la portlandite, la quantité de CSH et l'eau évaporable) dans les pâtes avec et sans superplastifiant a été étudié par analyse thermogravimétrique. Afin de simplifier la discussion des résultats, les produits d'hydratation ont été analysés une fois en fonction de l'effet de la calcination et l'autre fois en fonction du dosage en diatomite.

### III .4.4 .1 Effet de la calcination de la diatomite pour différent dosage

Les figure III. 33a figure III.36 montrent, pour chaque dosage en diatomite, l'effet de la température de calcination dans les pâtes de ciment sur la quantité en CSH, en portlandite (CH) et en eau évaporable.

La teneur en CH dépend de la présence du superplastifiant et de la température de calcination.

Pour le cas sans suprerplastifiant, la teneur en CH est supérieure à celle du témoin, cela est due au rapport Eau/Liant élevé.

Néanmoins, lorsque le rapport Eau/liant est égal à 0.35, la teneur en CH diminue par rapport à celle de la pate témoin. Cela est dû au fait au silice de la diatomite qui réagit avec la chaux.

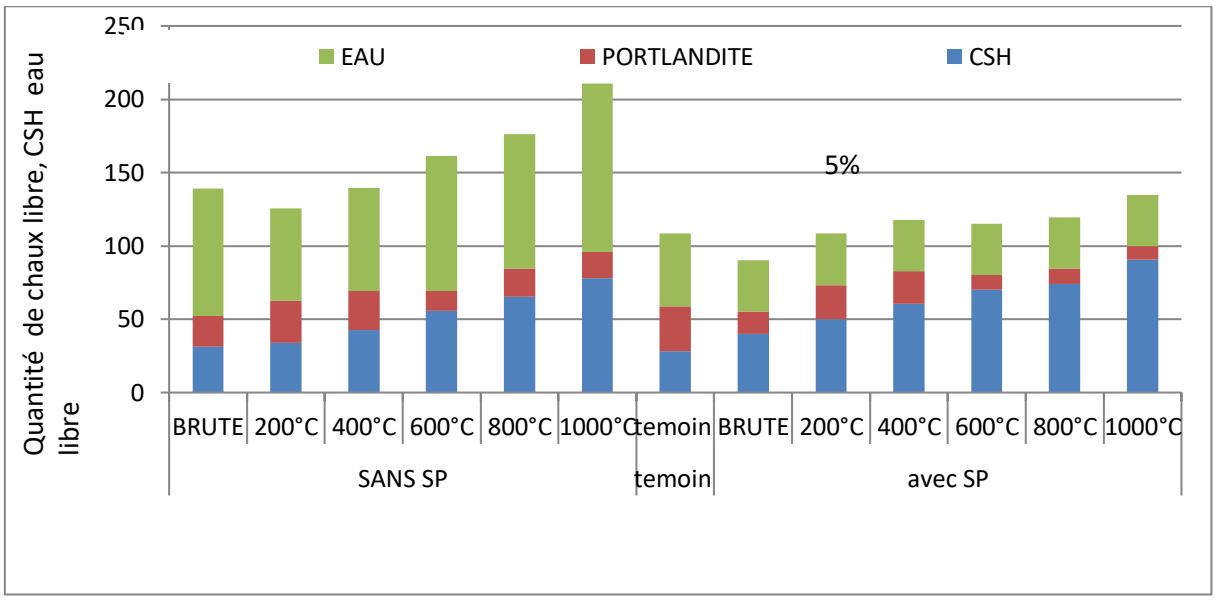



**Figure III .33: quantité de chaux libre des pates de ciment pour 5% de diatomite**

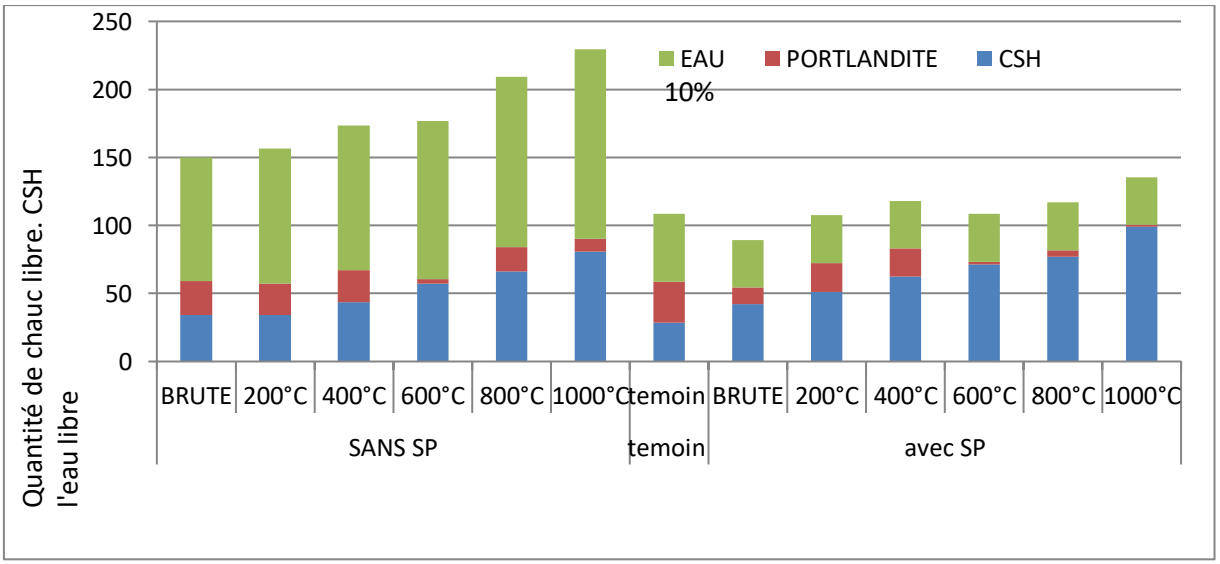



**Figure III. 34 :quantité de chaux libre des pates de ciment pour 10% de diatomite**

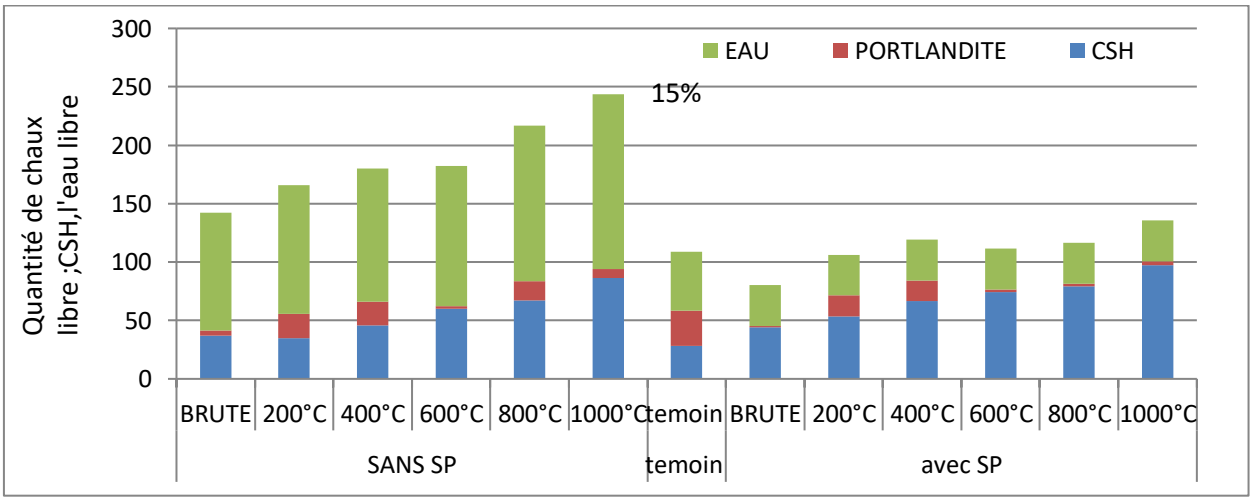



**Figure III. 35 : quantité de chaux libre des pates de ciment pour 15% de diatomite**

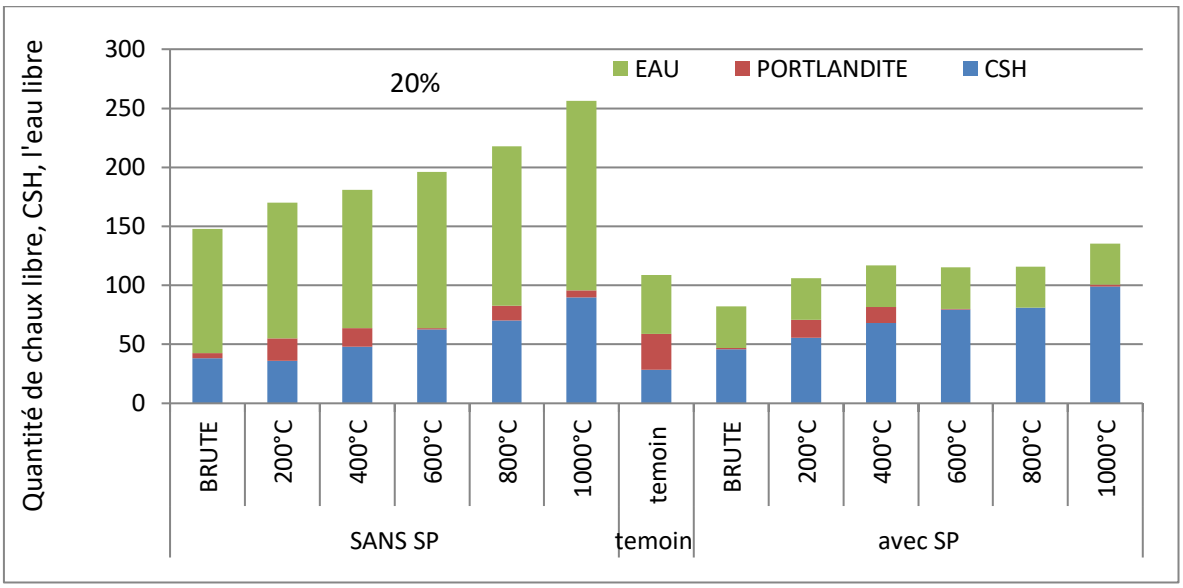



**Figure III 36 : quantité de chaux libre des pâtes de ciment pour 20% de diatomite**

### III .4.4 .2 Effet du dosage de la diatomite brute et calcinée

Les figures III.37 à figure III.42 montrent, pour chaque dosage en diatomite, l'effet du dosage dans les pâtes de ciment sur la quantité en CSH, en portlandite (CH) et en eau évaporable.

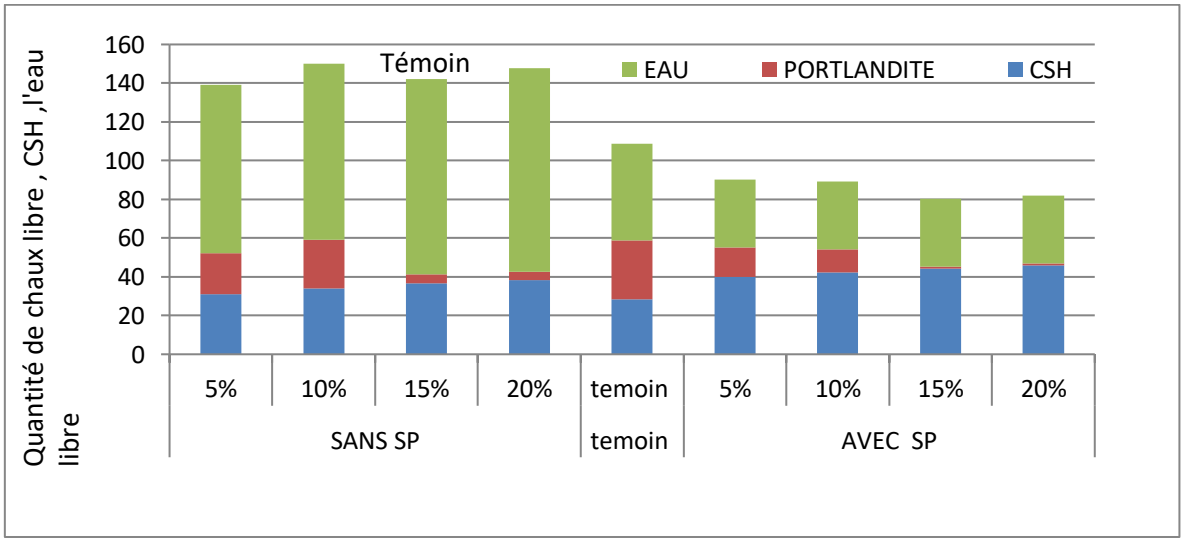



**Figure III .37: quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite brute**

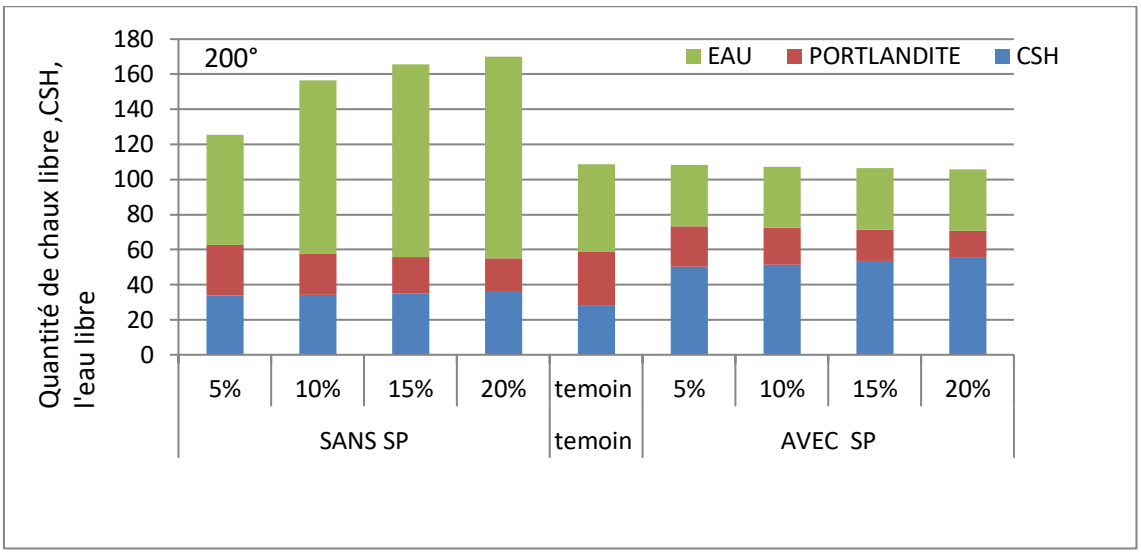



**Figure III .38 : quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 200°C**

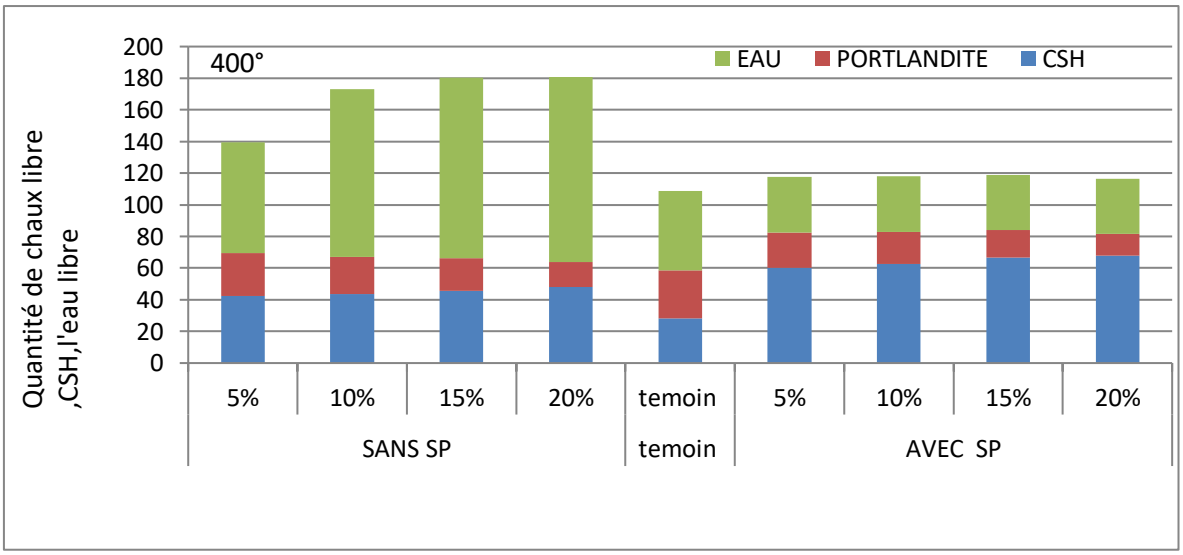



**Figure III. 39 : quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 400°C**

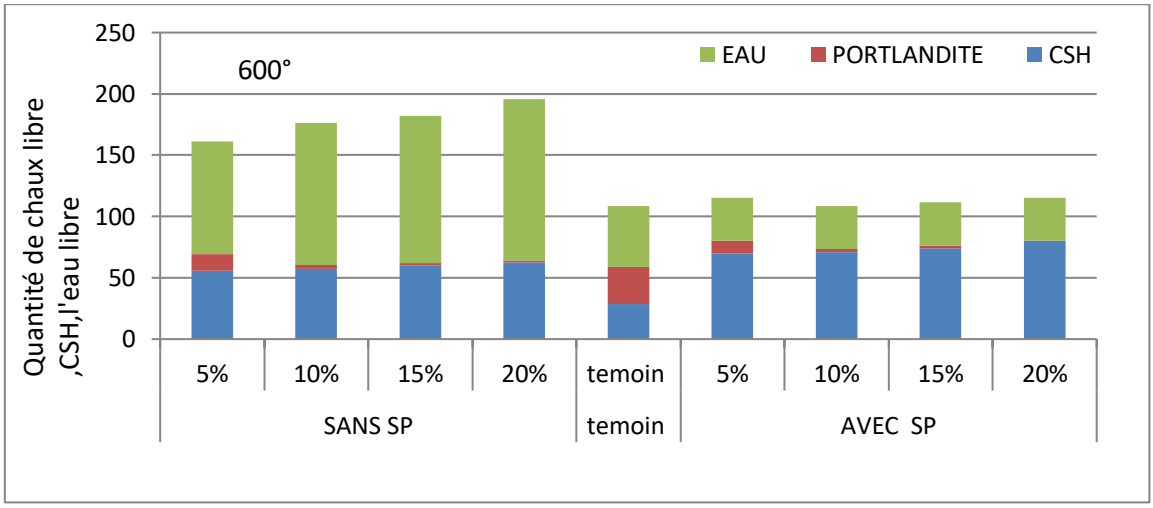



**Figure III. 40 :quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 600°C**

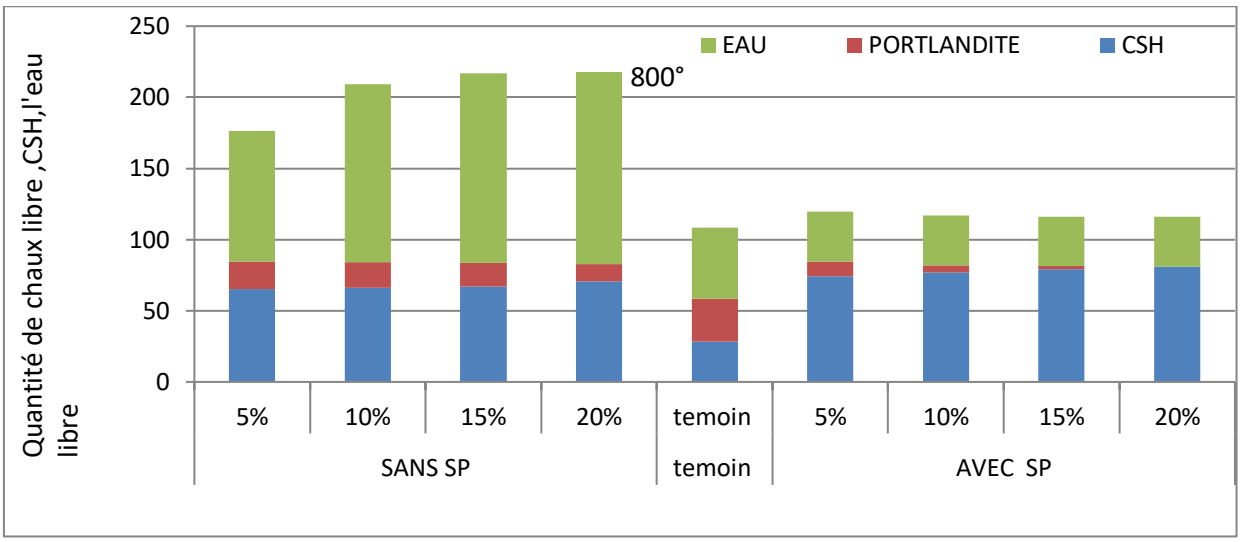



**Figure III. 41 :quantités de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 800°C**

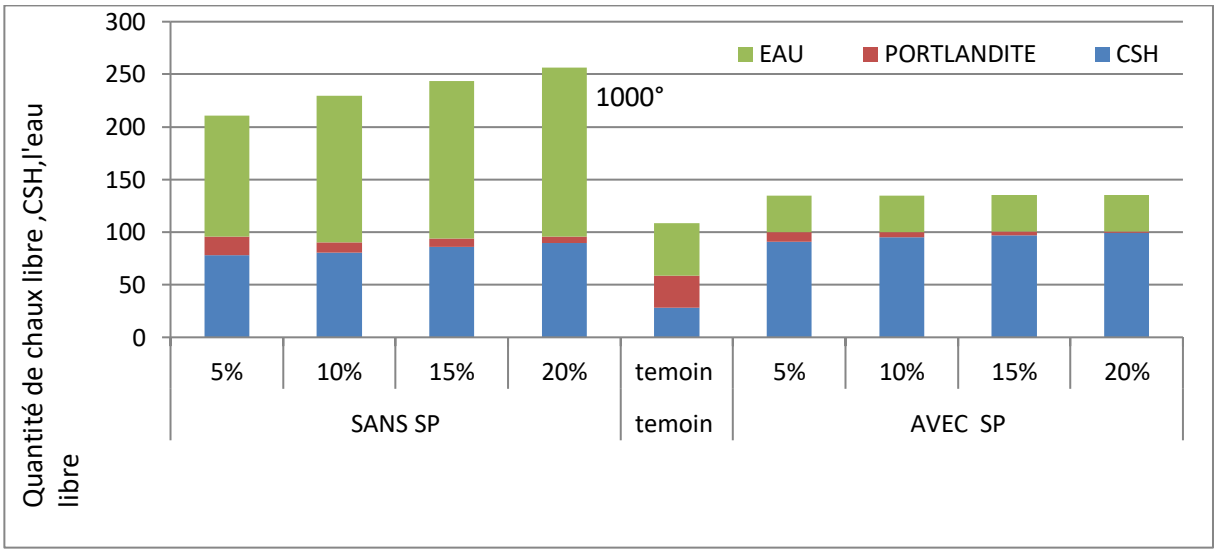



**Figure III. 42 :quantité de chaux libre des pates de ciment pour diatomite 1000°C**

D'après les figures , on remarque, dans le dosage compris entre 5 à 20% de diatomite en poids de ciment, la quantité d'eau évaporable est croisant . Ceci signifie que le fort dosage en eau utilisé, dans le cas du pate de ciment avec diatomite , (grâce à l'emploi simultané du superplastifiant ) est suffisant pour l'hydratation du ciment. Cet effet traduit que le faible dosage en eau (E /C=0 .35), d'autre part , le dosage croissant de diatomite réduit d'une façon linéaire la quantité d'hydroxyde de calcium Ca(OH)2 , libéré lors de l'hydratation du ciment , Ceci résulte de la réaction pouzzolanique de la diatomite qui réagit avec la chaux libre, ce qui conduit à produire de nouveaux hydrates liants : de silicates de calcium hydrates (C-S-H) plus fines et plus disséminés que ceux du pate de ciment ordinaire que croisant pendant élimination de portlandit sur les grains de ciment .

### III.4.5 La conductivité thermique .

#### III.4.5 .1 Conductivité thermique mortier chaux- diatomite

La figures III.43 montrent que la conductivité est plus faible que dans les mortiers formulés avec diatomite que ce soit avec ou sans superplastifiant.

les résultats rapportés sur la figureIII.43 montrent que la conductivité thermique diminue avec l'augmentation du dosage en diatomite brute ou calcinée

Cette diminution est dû à la combinaison de plusieurs facteurs : faible masse volumique de la diatomite , porosité qui résulte de l'absorption de la diatomite par l'emmagasinement de l'eau de gâchage et l'aspect pouzzolanique de la diatomite qui modifie la microstructure cristalline , aussi, plus la température de calcination de diatomite augmente .

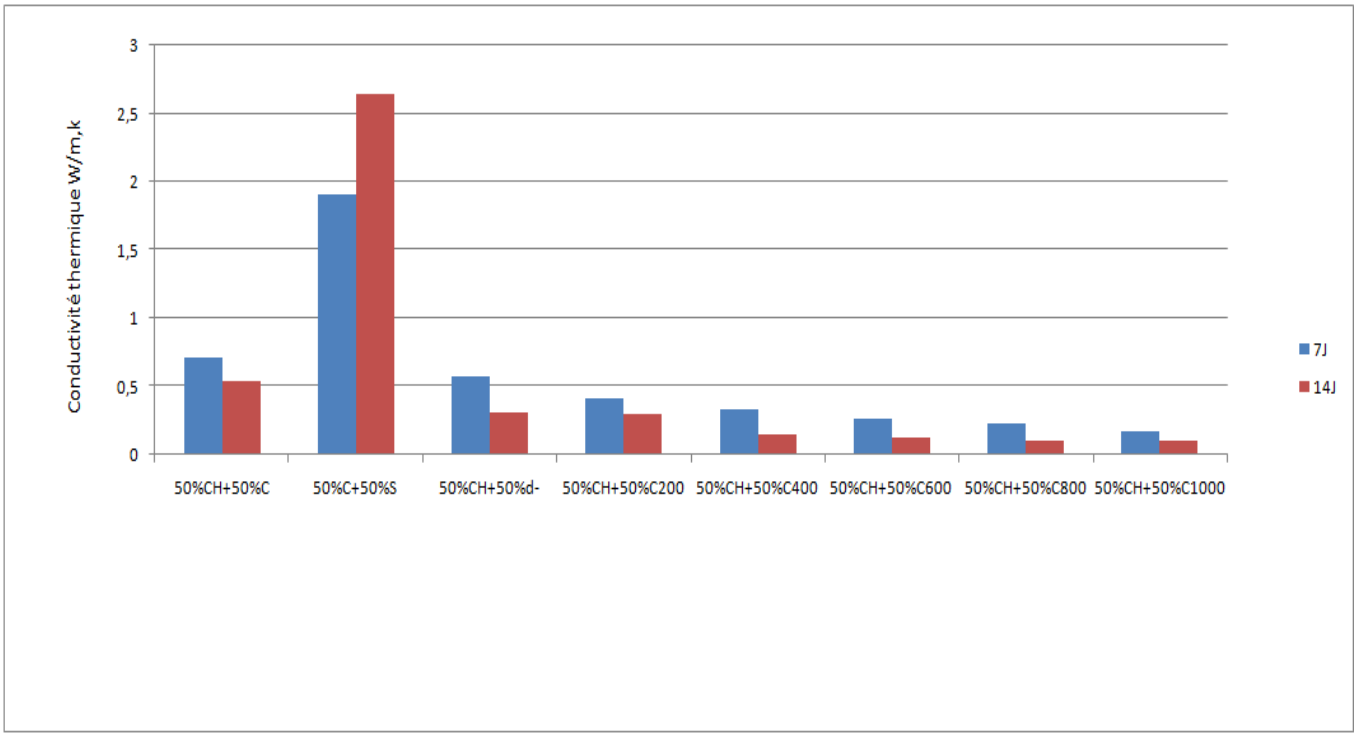



**Figure III. 43: Effet de la calcination de la diatomite et de la chaux sur la conductivité thermique des mortiers avec 50% de ciment.**

### III.4.5..2 Conductivité thermique diatomite mortier chaux- poudre aluminium – gypse

La Figure III. 44 représente Effet de la calcination de la diatomite sur la conductivité thermique des mortiers de ciment et de chaux gypse et Aluminium , Nous voyons claire que la conductivité thermique diminue avec la teneure massique en poudre d'aluminium constant la conductivité thermique est inférieure à 0,27W.m-1.K-1. Une valeur de 0,25 W.m-1.K-1 est enregistrée pour le mélange avec DE 800°et1000° pour un dosage en aluminium de 0.5% et 0,529 W.m-1.K-1 , 0,425 W.m-1.K-1 pour mélange de DE brute et 200° . Donc les valeurs des conductivités thermiques obtenues diminue avec l'augmentation de température de calcination

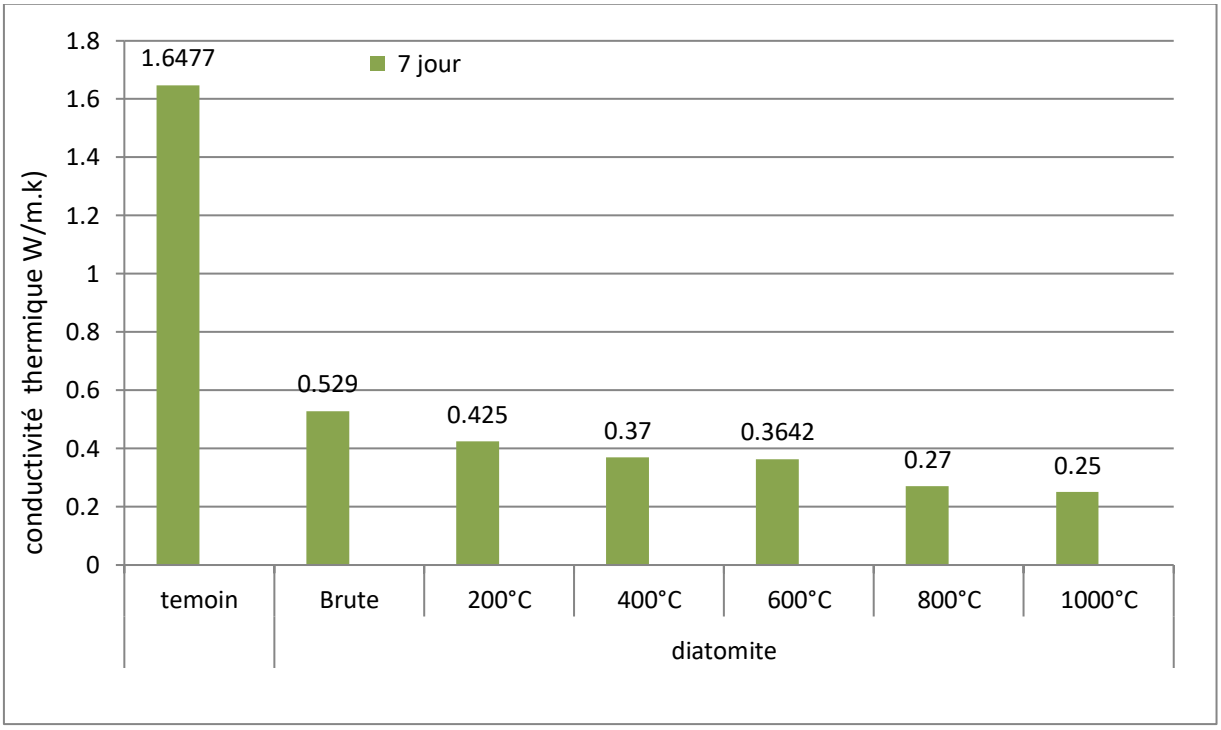



**Figure III. 44 : Effet de la calcination de la diatomite sur la conductivité thermique des mortiers de ciment et de chaux gypse et Aluminium**

Ce travail a été consacré à la valorisation d'une des ressources naturelles que possède l'Algérie. L'étude entreprise dans ce mémoire indique qu'il est possible d'exploiter les gisements de ressources naturelles telles que la diatomite pour produire des mortiers, des briques et la fabrication des ciments composés.

Afin de réduire l'effet de serre attribué aux émissions de $CO_2$ apportées par les industries cimentaires et afin d'optimiser leurs coût de production, on a réalisé des mortiers par substitution d'une partie du ciment par de la diatomite. Les résultats des travaux réalisés ont conduit aux constatations et conclusions suivantes :

**1- CARACTERISATION DE DIATOMITE CALCINEE**

- La teneure en silice augmente avec l'augmentation de la température de calcination.

- La surface spécifique diminue jusqu'à la température de 600°C.

- La granulométrie devient grossière lorsque la température est inferieure ou égale à 800°C.

**2 - PATES DE CIMENT DIATOMITE SANS SUPERPLASTIFIANT :**

❖ **A l'état frais**

- Le temps de prise des pâtes du ciment augmente avec l'augmentation du dosage de diatomite ; donc elle **peut être** utilisée comme un retardateur de prise.

❖ **A l'état durci**

- Faible densité

- La résistance mécanique des pâtes du ciment est **inversement** proportionnelle avec le dosage de poudre diatomite.

- La formulation qui donne les meilleures résistances est celle obtenue en remplaçant 15% du ciment par la diatomite calcinée à 600°C.

- L'utilisation de la diatomite sans adjuvant permet aussi d'avoir des mortiers et briques de performances physiques exploitables surtout dans l'isolation thermique.

- L'utilisation de la diatomite permet aussi d'avoir des matériaux absorbants

**3- PATES DE CIMENT DIATOMITE AVEC SUPERPLASTIFIANT :**

- **A l'état frais**
  - la prise de l'ensemble des pâtes de diatomite est moins rapide que celle de la pâte ordinaire.

- **A l'état durci**
  - la résistance à la compression des pâtes de ciment augmente en fonction de l'âge des éprouvettes.
  - Les essais de compression ont montré que le remplacement partiel du ciment par de la diatomite permet d'avoir des ciments de performances mécaniques intéressante.
  - Les analyses thermogravimétries (ATG) ont montré que la quantité de la portlandite diminues avec le dosage croissant de la diatomite.

**4 - MORTIERS DE DIATOMITE AVEC POUDRE ALUMINUM ET CHAUX:**

- Masse volumique très faible.
- La conductivité thermique de mortier de chaux et diatomite est plus faible que mortier ordinaire

**5 -MORTIERS DIATOMITE AVEC CHAUX**

- La conductivité thermique de mortier de chaux et diatomite est faible que mortier ordinaire. Aussi, la conductivité thermique du mortier est inversement proportionnelle avec la température de calcination de diatomite.

**Recommandations**

Afin de compléter cette recherche, et de cerner de près les lois régissantes le comportement de pâtes et mortiers avec diatomite , nous suggérons les recommandations pratiques suivantes :

Suivre l'évolution de la réaction pouzzolanique, au jeune âge

Suivre l'évolution de la résistance a la compression , au long terme

Suivre la durabilité

Suivre la conductivité électrique

# Références bibliographiques

[1] BERTON Y , et le BERRE P .(1983) – Diatomite _ Guide de prospection des matériaux de carrière .BRGM , collection Manuels et méthodes

[2 ] Jean , Michel Negroni – Geologue Groupe , imerys , Diatomite .

.[3] B. T. P. Dolley, “Diatomite,” U.S. Geol. Surv. Miner. Yearb., pp. 1–6, 2003

[4] KADEY L . Frederic (1975) "Diatom" 4 ed NUEVA YORK .Ed Industrial Minerals A ROCKS .Pp 145_152

[5] DIGMAN ,Robert , LOHMAN , kenneth , (1963) " Late pleistocene diatoms from the arica area " Chile , CIT ,Art , NO , 78 p 69-72

[6] HARBAN W , Peter (2002) " The industrial mineral Handbook " Ed . production Maria Holmes , Pp 117 , 118 ;121 ,122,127

[7] GOVERNMENT OF INDIA MINISTRY OF MINES INDIAN BUREAU OF MINES Indira Bhavan,Civil Lines, NAGPUR – 440 001 March, 2018

[8] DIATOMITE By Robert D. Crangle, Jr. Domestic survey data and tables were prepared by Kristi J. Simmons.

[9]Mémento roches et minéreaux industriel diatomite ph .Rocher décembre 1995

[10] 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)]

[11] ENOF 2000

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

[13] Cartographie par SIG des géo matériaux destinés au génie civil:Région d’Oujda, et étude de cas. Soutenue publiquement le 22 /07 /2016

[14] SPA- ENOF Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles Siege social: 31 rue Mohamed HATTAB Hacène Baddie El Harrach Alger

[15] 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

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

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

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

[19] pedro.abrao@lme.pcc.usp.br

https://orcid.org/0000-0002-3416-3196

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

[21] N. Degirmenci, A. Yilmaz / Construction and Building Materials 23 (2009)

[22] 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.

[23] 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.

[24] . 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.

[25] 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..

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

[27] ) 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

[28] 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

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

[30] 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/publication/281366636_Properties_of_Concrete_Containing_Diatomaceous_Earth

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

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

[33] 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

[34] B. Yilmaz and N. Ediz, "The use of raw and calcined diatomite in cement

[35 Valorisation de la brique de terre comprimée et stabilisée par du ciment et de la chaux 683 pdf Diaf Oussama 18/06/2018

[36] DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE Délivré par l'Université Toulouse III-Paul Sabatier Discipline ou spécialité : Génie Civil
Présentée et soutenue par Fatma SAIDAT Le 12-02-2013

# Annexes

## 1. Essai de consistance normale du ciment

### 1.1. Matériels utilisés

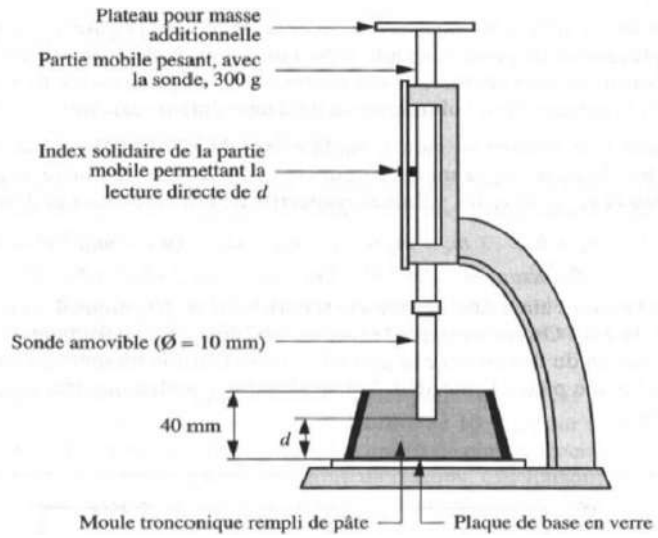
- Salle climatisée : L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de 20°C± 1°C et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une tellehumidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à 20°C± 1°C ;
- Malaxeur normalisé : avec une cuve de 5 litres de capacité et d'une pale de malaxage pouvant tourner à deux vitesses (dites lente 140 tr/mn et rapide 285tr/mn) ;
- Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français) : L'appareil est composé d'un moule tronconique (h=40 mm d1= 70 mm et d2= 80 mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de $\Phi$ = 10 mm ;
- Balance précise à 0,1 g près ;
- Chronomètre précise à 0,1 s près.

### 1.2. Mode opératoire

On procède par tâtonnements :

- Préparer 0.5 kg de ciment, une pâte pure de rapport E/C=0, 26, verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le ciment ;
- Mettre le malaxeur en marche et déclencher le chronomètre ;
- La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessive.
- Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.
- La sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance « d » séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque debase.
- La pâte sera à consistance normale si « d= 6mm ± 1mm » : si « d > 7 mm » : il n'y a pas assez d'eau, si « d < 5 mm » : il y a trop d'eau.

- Dans les 2 CAS, jeter la pâte, nettoyer et sécher le matériel et recommencer avec une nouvelle quantité d'eau.




**2. Essai de prise : EN 196-3**

**2.1. Définition et But de l'essai**

La présence de régulateur de prise dans la masse des liants hydrauliques offre à ces derniers,

après gâchage, une prise qui commence après quelques heures. Il est donc nécessaire de connaître le temps de début de prise des liants hydrauliques en vue de déterminer le temps disponible pour la mise en œuvre in situ des mortiers et des bétons dont ils sont confectionnés.

Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques : le début de prise et la fin de prise.

**2.2. Matériel utilisé**

C'est le même appareil qui est utilisé (dans les mêmes conditions) à l'exception de la sonde qui cisaille l'échantillon, le diamètre est beaucoup plus petit (Φ = 1.13 mm).

Mode opératoire. Une fois la pâte à consistance normale obtenu, on procède au changement de la sonde de Vicat par l'aiguille de Vicat et on l'amène à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). L'aiguille alors s'enfonce dans la pâte lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

- Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés (~ 10-15min) jusqu'à ce que d = 4mm± 1mm.

- Cet instant mesuré à 5 mn près est le temps de début de prise pour le ciment testé.

**3. Détermination de surface spécifique de Blaine : NF EN 196-6**

La surface spécifique d'un liant est calculée en fonction du temps que met un volume d'air constant, sous une pression déterminée et la température connue, à traverser une couche tassée de liant.

**3.1. Mode opératoire**

- La surface spécifique est déterminée avec le perméabilimètre de Blaine.
- On place un papier filtre sur la plaque inférieure de la cellule.
- On introduit l'échantillon de ciment et où égalise en secouant légèrement la cellule
- En place ensuite un papier-filtre au-dessus de l'échantillon et on comprime ce dernier en tournant légèrement le piston jusqu'à ce que son col et supporter par le bord supérieur de la cellule.

Après compression de l'échantillon dans la couche soumise à l'essai et le papier filtre.

- On relie la cellule du tube du manomètre et on s'assure de la parfaite étanchéité du raccord.
- On ferme le robinet monté sur le tube manomètre, on comprime la poire on caoutchouc.
- Le relâchement simultané de la pression sur la poire et l'ouverture du robinet d'aspiration ont pour effet, l'air est lentement aspiré du tube du manomètre et le liquide est refoulé vers le haut, lorsque le niveau du liquide atteint le repère supérieur.
- On ferme le robinet on met le chronomètre en marche lorsque la surface inférieur du ménisque franchisse le 2ème trait annulaire depuis le sommet du tube.
- On arrête le chronomètre.

**3.2. Expression des résultats**

La surface spécifique est calculée par la formule suivante :

$$S = K \frac{\sqrt{e^3 t}}{\rho (1 - e)\sqrt{\eta}}$$

Avec:

S : surface spécifique (cm2).

K : constant de l'appareil, égale à 28,26.

E : porosité de la couche tassée, égale à 0,5.

T : temps mesuré en secondes.

ρ : masse volumique des grains g/cm2

η : viscosité de l'air à la température d'essai (en poise).

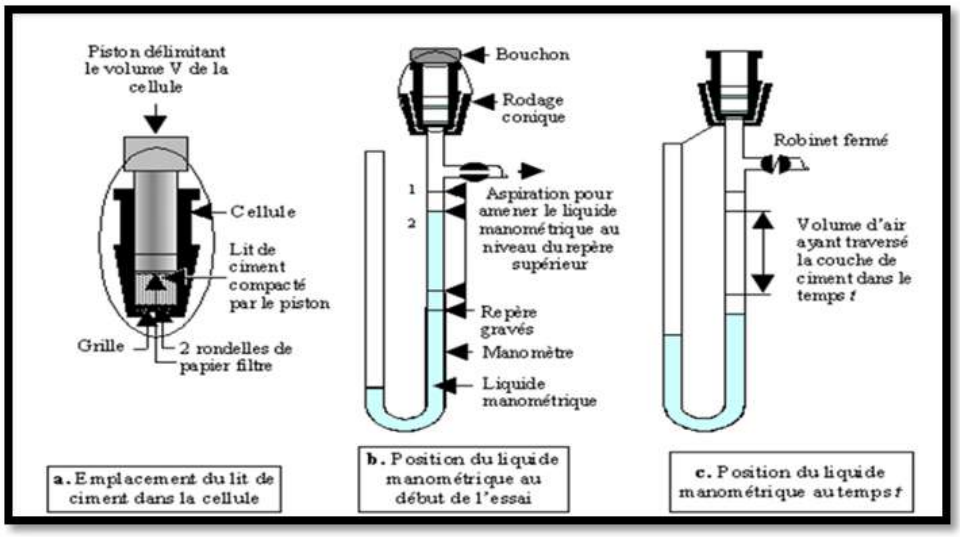



**Figure. 2.** Le perméabilimètre de Blaine.





**4- Masse volumique apparente**

Selon la norme **[NF EN 1097-3]. Masse volumique apparente**

- Peser le récipient
- Maitre l'échantillon dan un récipient
- Araser à la règle, et peser le contenu
- **Expression des résultats :**

La masse volumique apparente donnée par la formule suivante :

ρapp=( M2–M1)/v

M1 : la masse de récipient vide.

M2 : la masse de récipient +l'échantillon.

V1: le volume de récipient



**5- Masse volumique absolue**

On utilise Méthode de l'éprouvette graduée Cette méthode est très simple et très rapide.

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- Peser un échantillon sec M de granulats (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V2.
- Expression des résultats :

On Calcul pour chaque essais **ρabs= M ( V2- V1)**





**7- Essai sidémentométrie**

- **Principe**

Utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est fonction de leur dimension ,la loi de stokes donne , dans le cas de grains sphériques de même masse volumique , la relation entre le diamètre des grains et leur vitesse de sédimentation , par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents de particules

- **Méthode**

Les particules inférieures à 80µm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'un défloculant ,les particules sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille , au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et la profondeur d'immersion de l'appareil ,la distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de ces données

- **Terminologie et définition**

➔ **Tamisat** ( ou passant) : matériau qui passe à travers les mailles d'un tamis .

➔ **Sédimentation** : progression d'un dépôt de particules solides dans un liquide au repos sous l'effet de la gravité .

➔ **Granularité** : distribution dimensionnelle des grains d'un granulat .

➔ **Densité d'un liquide** : rapport de la masse d'un certain volume de ce liquide à la masse d'un égal volume d'eau dans les mêmes conditions de température et de presion.

- **Exécution de l'essai**

Les appareils suivants sont nécessaires à l'exécution de l'essai

**1- éprouvettes d'essai**

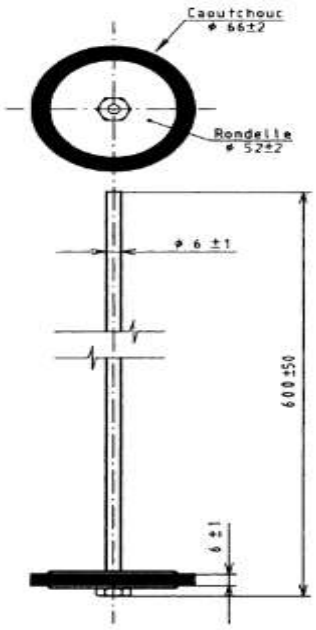
Deux éprouvettes cylindriques en verre transparent, graduées et d'une contenance minimale de 2500 $cm^3$ ,elles doivent avoir un diamètre intérieur de 85mm ±5mm, des graduations à 500,1000 ,1500 et 2000 $cm^3$ au moins et une variation de la section de l'éprouvette inférieure ou égale à 1% de la section moyenne .

**2 –Eau distillée ou déminéralisée**

Une réserve de 4000 cm³ d'eau distillée ou déminéralisée.

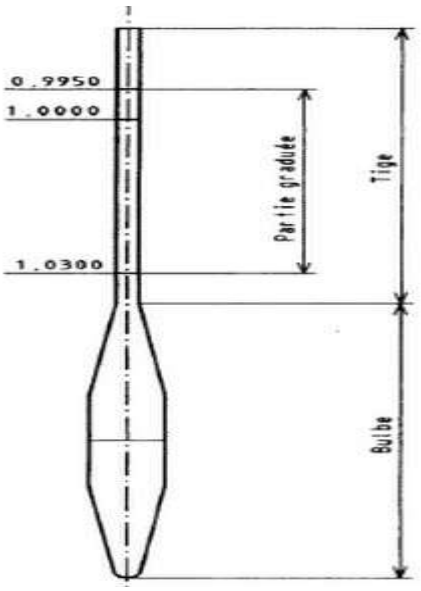
**3- agitateur manuel**

une agitateur manuel pour homogénéiser la suspension avant essai




**4- Densimètre**

Le densimètre doit être tel que le mesurage soit effectué avec une exactitude de 0 ,0005 . la plage d'utilisation de l'instrument est de 0 ,9950 à 1,0300 ,il doit être de forme torpille (figure ) avec un centre de poussée au voisinage du milieu du bulbe




**5-Thermomètre**

Les deux instruments de mesure de la température doivent etre tels que le mesurage soit effectué avec une exactitude de 0,5℃ ,la plage d'utilisation des thermomètres est de 10 à 35℃

**6-Chronomètre**

L'appareil  doit permettre un affichage de la mesure du temps à la seconde prés

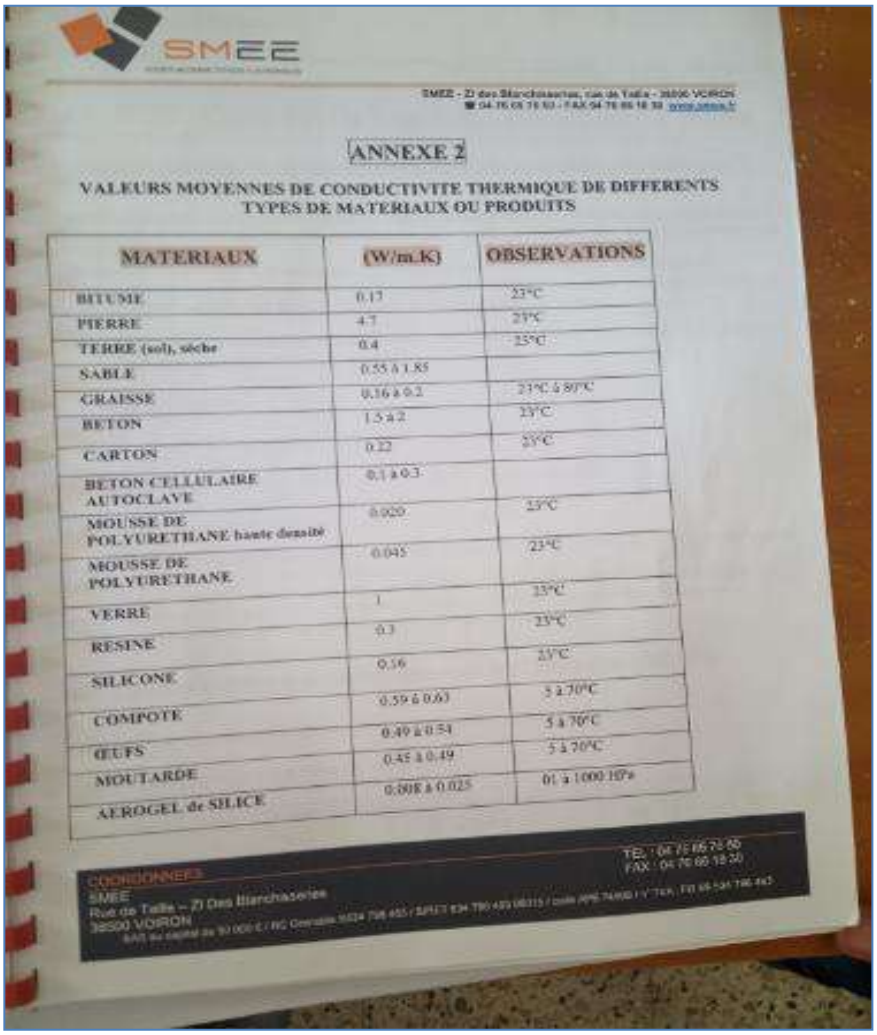
**7-Thermomètre de la salle d'essai**

Un thermomètre enregistreur de contrôle doit être placé en permanence dans la salle d'essai

- **Mode opératoire**

Les opération décrites ci-dessous  sont successivement à réaliser dans une salle d'essai dont la température doit être contrôlée

8- fiche de valeur de conductivité thermique



SMEE

SMEE - ZI des Blanchisseries, rue de Taille - 38500 VOIRON
☎ 04 76 05 75 50 - FAX 04 76 05 18 20 www.smee.fr

## ANNEXE 2

### VALEURS MOYENNES DE CONDUCTIVITE THERMIQUE DE DIFFERENTS TYPES DE MATERIAUX OU PRODUITS

| MATERIAUX | (W/m.K) | OBSERVATIONS |
|---|---|---|
| BITUME | 0.17 | 23°C |
| PIERRE | 4.7 | 23°C |
| TERRE (sol), sèche | 0.4 | 25°C |
| SABLE | 0.55 à 1.85 | |
| GRAISSE | 0.16 à 0.2 | 23°C à 80°C |
| BETON | 1.5 à 2 | 23°C |
| CARTON | 0.22 | 23°C |
| BETON CELLULAIRE AUTOCLAVE | 0.1 à 0.3 | |
| MOUSSE DE POLYURETHANE haute densité | 0.020 | 23°C |
| MOUSSE DE POLYURETHANE | 0.045 | 23°C |
| VERRE | 1 | 23°C |
| RESINE | 0.3 | 23°C |
| SILICONE | 0.16 | 23°C |
| COMPOTE | 0.59 à 0.63 | 5 à 70°C |
| OEUFS | 0.49 à 0.54 | 5 à 70°C |
| MOUTARDE | 0.45 à 0.49 | 5 à 70°C |
| AEROGEL de SILICE | 0.008 à 0.025 | 01 à 1 000 10⁵Pa |

COORDONNEES
SMEE
Rue de Taille – ZI Des Blanchisseries
38500 VOIRON
TEL : 04 76 05 75 50
FAX : 04 76 05 18 20

9- fiche technique de gypse



GoPrime

# Fiche Technique

170-135

Fiche technique # 20070205

## DUO - APPRÊT-SCELLEUR ET SOUS-COUCHE AU LATEX 100% ACRYLIQUE – INTÉRIEUR

### FONCTION DU PRODUIT

Apprêt-scelleur et sous-couche à base de latex, formulé pour les surfaces intérieures.

### SURFACES

- Gypse conventionnel, hydrofuge, ignifuge.
- Plâtre neuf et sec, stuc.
- Composé de remplissage durci et sec.
- Maçonnerie, béton, blocs de béton, briques ou bardeaux d'amiante-ciment.
  - Scelle le gypse neuf, les réparations et la maçonnerie pour assurer un fini uniforme.
- Surfaces nues d'aluminium ou de zinc.
- Métal galvanisé neuf ou mis à nu.
- Métal émaillé en usine.
- Surfaces déjà peintes ou vernies.
  - Masque l'ancienne couleur pour assurer un meilleur rendu de la nouvelle couleur.
  - Permet de faire la transition d'une peinture à l'alkyde à une peinture au latex.
- Papier peint (en vinyle).

### UTILISATIONS

Murs, plafonds, boiseries, portes, armoires.
Travaux neufs ou d'entretiens intérieurs.
Surfaces nouves ou déjà peintes et en bon état.
Peut être recouvert de peinture à l'alkyde ou au latex.

**Remarque: Doit être recouvert d'une peinture de finition.**

**Restriction d'utilisation :**
Utiliser de préférence la sous-couche à l'alkyde «SICO GoPrime» 180-135 sur:

- les bois qui déteignent, tels le cèdre et l'acajou,
- le vieux plâtre durci, sec ou pulvérulent,
- la mélamine ou le stratifié,
- le papier peint en papier.

### AVANTAGES

- Ultra adhérent
- Application et ponçage facile.
- Sèche rapidement et ne dégage qu'un minimum d'odeur.
- Scelle efficacement et assure un meilleur aspect aux couches de finition.
- Haut cachant avec un excellent pouvoir couvrant.
- Peut être recouvert de tous les fini à l'alkyde ou au latex.
- Assure un meilleur aspect aux couches de finition.
- Non affecté par l'alcalinité du plâtre et du béton frais.
- Ne soulève pas les fibres de la planche de gypse.
- Produit écologique ne contenant ni plomb ni mercure et conforme à la réglementation canadienne sur l'émission des composés organiques volatils des revêtements d'entretien architecturaux ou industriels.

### COULEUR

170-135 Blanc
Peut être teinté en couleurs pastel seulement.
Maximum de 3 onces de colorant COLORIZER par 3,78 litres.

### DONNÉES TECHNIQUES SUR LE PRODUIT

| | |
|---|---|
| **Brillance 60°** | 0 à 6 % |
| **Reflet 85°** | 8 à 14 % |
| **Aspect:** | Mat |
| **Taux d'étalement** | Approximativement 40 à 48 mètres carrés (440 à 520 pieds carré) par 3,78 litres |

Note: N'inclus pas les pertes dues aux variations dans les méthodes d'application, de la porosité de la surface ou de scellage.

| | |
|---|---|
| **Volume de solides (%)** | 24,6% |
| **Poids de solides(%)** | 42,9% |
| **Viscosité (U.K.)** | 96 à 102 |
| **Densité (g/ml)** | 1.3 |
| **Inflammabilité** | Ininflammable |
| **Point éclair (°C)** | |
| **C.O.V. Réglementaire** | 78.38 g/L |
| **C.O.V. Actuel** | 20.82 g/L |

Note: La coloration de ce produit peut ajouter des composés organiques volatils.

**Composition**

| | |
|---|---|
| **Diluant:** | Eau |
| **Liant:** | Émulsion 100% acrylique: latex |
| **Pigments et additifs:** | Bioxyde de titane, charges inertes (pigments), surfactifs (agents) et autres. |
| **Norme (s)** | Type ONGC 1.119-2000<br>Type MPI #50 |

### CONDITIONS D'UTILISATION

| | |
|---|---|
| **Température (°C)** | 10°C à 30°C (50° à 86°F). |
| **Humidité relative (%)** | Idéale: 50%. Maximale: 85%. |

**Temps de séchage** (25°C; 50% humidité relative)

| | |
|---|---|
| **Au toucher** | 1 à 2 heures |
| **Recouvrement** | 2 à 4 heures |
| **Complet (h)** | 14 jours |

Le séchage sera plus long par temps froid et humide.
**La surface doit être sèche, propre, libre de poussière, de cire, de graisse, de savon, de peinture écaillée et de tous contaminants.**

### OUTILS D'UTILISATION

| | |
|---|---|
| **Pinceau** | Nylon ou polyester. |
| **Rouleau** | 10 mm – 13 mm |
| **Pistolet – Buse** | .017 - .019 |
| **Autre** | |
| **Nettoyage des outils:** | À l'eau savonneuse immédiatement après usage. |

### ENTREPOSAGE

Garder dans un endroit frais, sec et ventilé entre 4°C et 30°C (50° et 86°F).
**Durée de vie du produit:** 5 ans dans les conditions idéales.

Sico Inc. garantit la qualité de ses produits. Ils sont conformes à la description donnée dans les notices technique et sur les étiquettes apposées à l'usage auquel ils sont destinés, conformément aux instructions rédigées par la compagnie. Néanmoins, puisque le fabricant n'exerce aucun contrôle sur les circonstances, les méthodes et les conditions d'emploi, cette garantie couvre uniquement la haute qualité des produits Sico Inc.

10- fiche technique de ciment

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



## FORMULATION CONSEILLÉE

| | Ciment | Sable (sec) | Gravillons (sec) | | Eau (litres) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0/5 | 8/15mm | 15/25mm | |
| Dosage pour béton C25/30 | X 1 | + X7 | + X5 | + X4 | + 25 L |

Remaque: un bidon = 10 Litres

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

| • Analyses chimiques | Valeur |
|---|---|
| Perte au feu (%) (NA5042) | 10.0±2 |
| Teneur en sulfates (SO3) (%) | 2.5±0.5 |
| Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) | 1.7±0.5 |
| Teneur en Chlorures(NA5042) (%) | 0.02-0.05 |

| • Temps de prise à 20° (NA 230) | Valeur |
|---|---|
| Début de prise (min) | 150±30 |
| Fin de prise (min) | 230±50 |

| • Composition minéralogique du Clinker (Bogue) | Valeur |
|---|---|
| C3S (%) | 60±3 |
| C3A (%) | 7.5±1 |

| • Résistance à la compression | Valeur |
|---|---|
| 2 jours (MPa) | ≥ 10.0 |
| 28 jours (MPa) | ≥ 42.5 |

| • Propriétés physiques | Valeur |
|---|---|
| Consistance Normale (%) | 26.5±2.0 |
| Finesse suivant la méthode de Blaine ($cm^2/g$) (NA231) | 3 700 - 5 200 |
| Retrait à 28 jours (µm/m) | < 1 000 |
| Expansion (mm) | ≤ 3.0 |

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

**1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU :** Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

**2- MANUTENTION :** levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



**LAFARGE ALGÉRIE**
Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie
Tél: + 213 (0) 21 98 54 54
Fax: + 213 (0) 23 92 42 94
www.lafargealgerie.com

LAFARGE لافارج

11- fiche technique de poudre aluminium

## SECTION 9: Propriétés physiques et chimiques

**9.1 Informations sur les propriétés physiques et chimiques essentielles**

| | |
|---|---|
| a) Aspect | Forme: poudre<br>Couleur: argent |
| b) Odeur | Inodore |
| c) Seuil olfactif | Donnée non disponible |
| d) pH | Donnée non disponible |
| e) Point de fusion/point de congélation | 660°C |
| f) Point initial d'ébullition et intervalle d'ébullition | 2460°C |
| g) Point d'éclair | Non applicable |
| h) Taux d'évaporation | Donnée non disponible |
| i) Inflammabilité (solide, gaz) | Peut former des concentrations de poussière combustibles dans l'air |
| j) Limites supérieure/inférieure d'inflammabilité ou d'explosivité | |
| Supérieure: | Donnée non disponible |
| Inférieure: | Donnée non disponible |
| k) Pression de vapeur | Donnée non disponible |
| l) Densité de vapeur | Donnée non disponible |
| m) Densité relative | 2.700 g/cm3 à 25°C |
| n) Hydrosolubilité | Donnée non disponible |
| o) Coefficient de partage: n-octanol/eau | Donnée non disponible |
| p) Température d'autoinflammabilité | n'est pas auto-inflammable |
| q) Température de décomposition | Non applicable |
| r) Viscosité | Donnée non disponible |
| s) Propriétés explosives | Risque d'explosion de poussière. |
| t) Propriétés comburantes | Donnée non disponible |

**9.2 Autres informations concernant la sécurité**

Donnée non disponible

## SECTION 10: Stabilité et réactivité

**10.1 Réactivité**

Donnée non disponible

**10.2 Stabilité chimique**

Sensible à l'humidité. Sensible à l'air. Stable dans des conditions normales.

**10.3 Possibilité de réactions dangereuses**

Donnée non disponible

**10.4 Conditions à éviter**

Exposition à l'air, Produits incompatibles, Exposition à de l'air humide ou à de l'eau, Des matières combustibles.

**10.5 Matières incompatibles**

Bases, Eau, Acides forts, Composés halogénés, Chlore, Fluor, Brome, L'oxygène, Oxydes de plomb, Dioxyde de carbone ($CO_2$).

**10.6 Produits de décomposition dangereux**

La combustion produit des fumées nauséabondes et toxiques.
En cas d'incendie : voir section 5

12- fiche technique de superplastifiant

# MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1 , 3.1 et 3.2 NA 774

**Superplastifiant - haut réducteur d'eau**

## DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

## DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

## ROPRIÉTÉS

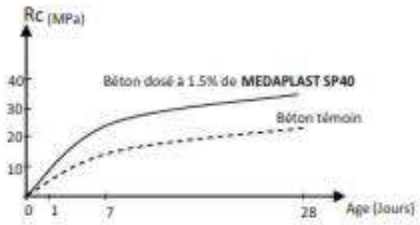
Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

**Sur béton frais :**
- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

**Sur béton durci :**
- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

## CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Marron
- pH ..... 8,2
- Densité ..... 1,20 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 1g/L
- Extrait sec ..... 40%




Evolution des résistances en compression

## MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été introduite.

## DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

## CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubiténaire de 1200 kg.
**Délai de conservation :**
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

## PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

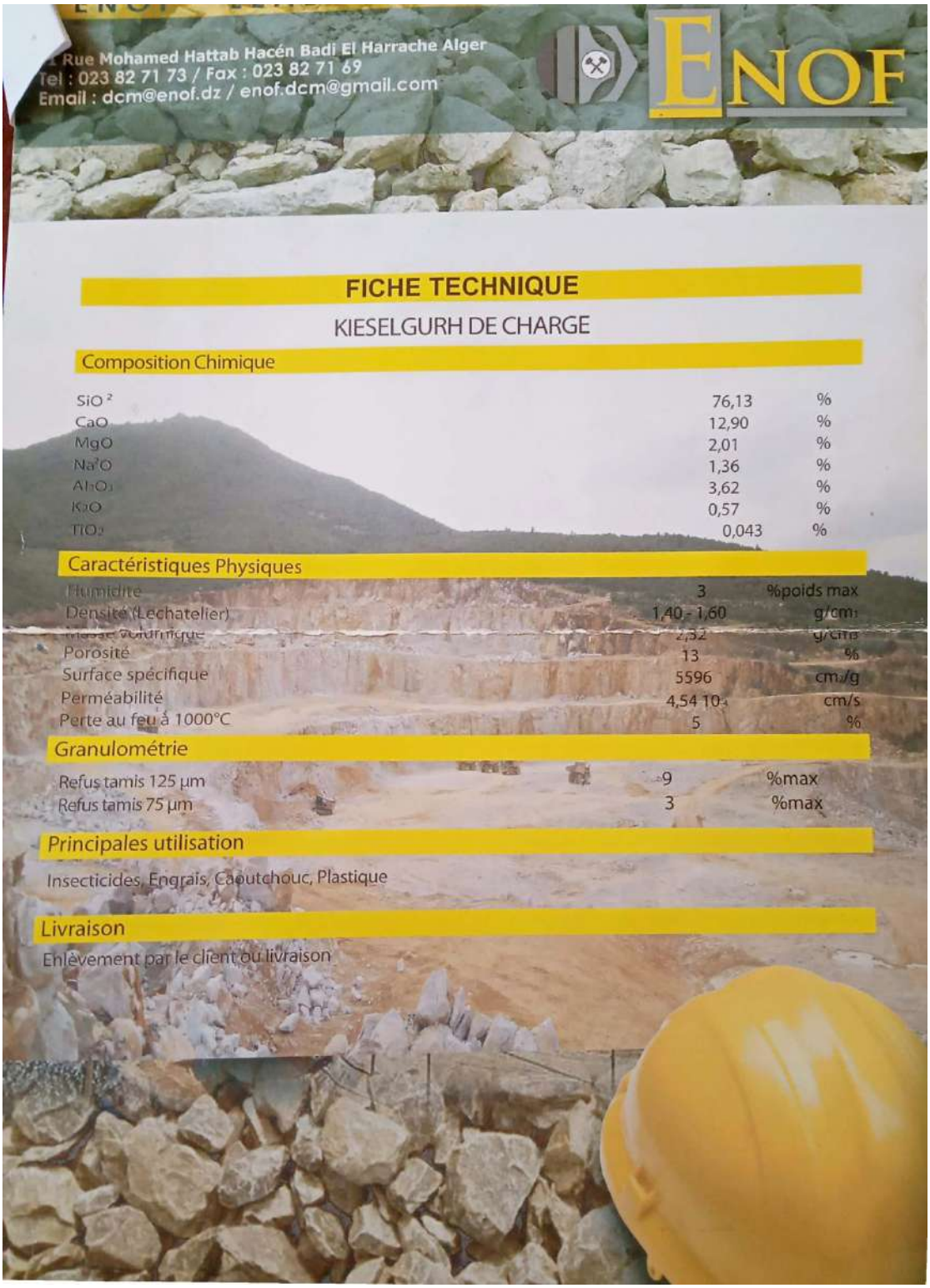
Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex-dz.com**
PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Janvier 2007.

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

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

93

13- fiche technique de diatomite



Rue Mohamed Hattab Hacén Badi El Harrache Alger
Tel : 023 82 71 73 / Fax : 023 82 71 69
Email : dcm@enof.dz / enof.dcm@gmail.com

ENOF

## FICHE TECHNIQUE

### KIESELGURH DE CHARGE

**Composition Chimique**

| | | |
|---|---|---|
| $SiO^2$ | 76,13 | % |
| CaO | 12,90 | % |
| MgO | 2,01 | % |
| $Na^2O$ | 1,36 | % |
| $Al_2O_3$ | 3,62 | % |
| $K_2O$ | 0,57 | % |
| $TiO_2$ | 0,043 | % |

**Caractéristiques Physiques**

| | | |
|---|---|---|
| Humidité | 3 | %poids max |
| Densité (Lechatelier) | 1,40 - 1,60 | g/cm³ |
| Masse volumique | 2,32 | g/cm³ |
| Porosité | 13 | % |
| Surface spécifique | 5596 | cm²/g |
| Perméabilité | 4,54 $10^{-1}$ | cm/s |
| Perte au feu à 1000°C | 5 | % |

**Granulométrie**

| | | |
|---|---|---|
| Refus tamis 125 µm | 9 | %max |
| Refus tamis 75 µm | 3 | %max |

**Principales utilisation**

Insecticides, Engrais, Caoutchouc, Plastique

**Livraison**

Enlèvement par le client ou livraison