

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénieur Année 2007

Département de Génie Civil

## THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT D'ETAT

# ELABORATION ET CARACTERISATION D'UN MATERIAU COMPOSITE A BASE DE FIBRES DE DISS DANS LA FABRICATION DE LA MACONNERIE

Option

Matériaux et Structures

Par

**Mouloud MERZOU**

DIRECTEUR DE THESE : **Mohamed Fouzi HABITA** Professeur Université de Annaba

DEVANT LE JURY

PRESIDENT : **Bachir REDJEL** Professeur Université de Annaba

EXAMINATEURS : **Hacène HOUARI** Professeur Université de Constantine

**Mouloud BELACHIA** Professeur Université de Skikda

**Mourad BEHIM** Maître de Conférences Université de Annaba

# Résumé

Cette recherche avait pour but principal de déterminer les propriétés structurales et le comportement des panneaux de maçonnerie en compression axiale. Ces propriétés sont surtout recherchées pour les structures remplies de maçonnerie soumises aux charges horizontales.

Des essais ont été réalisés sur des prismes soumis à la compression axiale, en mesurant les déformations longitudinales au cours du chargement.

D'autres essais ont été faits pour déterminer la résistance du mortier à la compression et à la traction, on a aussi mesuré l'adhésion entre les briques et le mortier, ainsi que le coefficient d'absorption des briques.

Ces essais ont été effectués sur trois types différentes de briques: briques d'argile, briques de chaux et sable et briques de béton.

Une comparaison a été également sur les briques de la région de Annaba, à la base des résultats obtenus par Monsieur Grine Azzedine dans son mémoire de Magister.

Ce travail concerne également la valorisation d'un co-produit végétal le Diss, qui est une plante qui existe en abondance à l'état sauvage sur tout le bassin méditerranéen. En France on la trouve dans les départements suivants: Alpes-Maritimes, Var, Corse-du-Sud et Hérault. Cette plante était utilisée auparavant dans la réalisation des habitations anciennes de ces régions en raison de ses qualités mécaniques et hydriques.

Le matériau végétal de base, utilisé comme granulat dans les composites à matrice cimentaire, présente une absorption de l'ordre de 90%. Différents traitements thermiques, chimiques et physiques ont été donc appliqués pour optimiser les caractéristiques mécaniques et hydriques des composites. L'objectif de ce travail est la mise au point d'une formulation du composite pour chaque traitement du végétal, basés sur des mesures d'absorption, de résistances mécaniques et des variations dimensionnelles. Les résultats obtenus sont encourageants et laissent envisager un développement ultérieur de ce matériau comme remplissage dans les structures.

# **Abstract**

The main goal of this research was to determine the structural properties of the masonry and the behaviour of the panels of masonry in axial compression. These properties are especially required for the structures filled of masonry subjected to the horizontal loads. Tests were carried out on prisms subjected to axial compression, by measuring the longitudinal deflections during the loading.

Other tests were carried out to determine the mortar strength to compression and with traction, one also measured adhesion between bricks and the mortar, as well as the absorption coefficient of bricks.

These tests were carried out on three types different from bricks: clay bricks , lime and sand bricks and concrete bricks .

A comparison was also made on bricks of the area of Annaba, at the base of the results obtained by Mr Grine Azzedine in his report of Magister.

This work also relates to the valorisation of a vegetable Diss, which is very luxuriant plant growing in wild state around the Mediterranean North Africa and dry areas of Greece and Spain. It grows in France, mainly, in the departments of the Alpes-Maritimes, the Var, the South of Corsica and Herault. In the past, it was used as building material because of its mechanical and hydrous qualities.

The basic vegetable material, very fibrous, presents indeed an absorption of about 90% that would be corrected. Moreover, we noted a considerable retardation of setting and very low resistances during the composite tests with natural crushed diss, despite the fact that the fibres have considerable tensile strength. To improve the fibres contribution in cementitious composites, we have carried out a treatment by boiling the fibres of diss to extract the substances responsible for the bad connection between fibres and the cement paste. We have also carried out a treatment with linseed oil and bitumen to attenuate the fibres absorption rate.

The use of such a fibrous plant in a cementitious matrix leads to lightweight materials with very attractive tensile behavior that can be used as advantageous filling materials for structures subjected to seismic effects.

The results obtained are encouraging and enable to foresee a later development of this material.

## *REMERCIEMENTS*

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire des Technologies Innovantes à l'Université Picardie Jules Verne d'Amiens, dirigé par Madame le professeur **Michèle Queneudec t'Kint**, et ce dans le cadre de formation à distance (BAF), et une partie au laboratoire de Génie Civil de l'Université de Annaba.

Toute ma considération à mon directeur de thèse Monsieur le professeur **M. F Habita** pour son aide et ses conseils fructueux pour l'aboutissement de mon travail.

Mes chaleureux remerciements à Madame le professeur **Michèle Queneudec t'Kint** pour son accueil au sein de son laboratoire. Je tiens à lui exprimer ma gratitude pour son aide et son soutien moral jusqu'à la fin de mon séjour.

Je remercie vivement Monsieur le professeur **B. Redjel** pour ses conseils et ses orientations durant toute ma thèse, et d'avoir accepté de présider le jury de ma thèse.

Mes remerciements à Madame **R.M Dheilly** et Madame **A. Goullieux**, HDR et membres du Laboratoire des Technologies Innovantes d'Amiens pour leurs aides et leurs précieux conseils tout le long de mon séjour à Amiens.

Je remercie également Monsieur **A. Benazzouk**, Maître de Conférences à l'IUT d'Amiens pour sa disponibilité et son aide très précieuse durant mes séjours à Amiens en période de stage et de FAD.

Mes remerciements également à **B. Dupré**, **P. Monréal**, **F. Ghodbane**, **B Laidoudi**, **B Mboumba**, et **S Abdelmoumène**.

Mes remerciements particuliers aux techniciens du laboratoire pour leur entière disponibilité et en particulier à **Yves Callife**.

Mes sincères remerciements à Monsieur **Houari Hacène** professeur à l'université de Constantine, Monsieur **Belachia Mouloud** professeur à l'université de Skikda, et Monsieur **Behim Mourad** Maître de Conférences à l'Université de Annaba, d'avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens à remercier tous les collègues enseignants et travailleurs de mon ancien département de Génie Civil de l'Université de Annaba.

Enfin mes remerciements à tous les thésards qui ont partagé avec moi les difficultés et les joies de mon séjour au LTI.

Mes pensées finales à mon épouse **Samia** pour son sacrifice inoubliable et inestimable durant toutes les années de ma thèse et à mes enfants **Mehdi** et **Riad** pour leur patience durant tout mon parcours.

Mr Mouloud MERZLOUD

## DEDICACES

**Je dédie ce modeste travail**

*A la mémoire de mon père*

*A la mémoire de ma mère*

*A la mémoire de ma belle mère*

*A mon beau père*

*A mon épouse Samia*

*A mes enfants Mehdi et Riad*

*A ma belle sœur Keltoum*

*A mes frères et soeurs*

Mouloud MERZOUUD

# ***TABLE DES MATIERES***

|  |          |
|--|----------|
| <b>INTRODUCTION</b>  | <b>1</b> |
| 1 Les bétons légers  | 3        |
| 2 Matériaux et éléments calorifuges et phoniques   | 3        |
| 2.1 Matériaux et éléments calorifuges  | 3        |
| 2.2 Structure et propriétés des matériaux calorifuges  | 4        |
| 3 Classification des matériaux et éléments calorifuges   | 5        |
| 4 Matériaux et éléments organiques pour isolation thermique  | 6        |
| 5 Matériaux et éléments calorifuges en matière organique   | 6        |
| <br>   |          |
| <b>CHAPITRE I : Généralités et Rappels bibliographiques</b>  | <b>8</b> |
| 1 La maçonnerie  | 9        |
| 1.1 Résistance à la compression de la maçonnerie   | 9        |
| 1.1.1 Facteurs influençant la résistance à la compression  | 9        |
| 1.1.1.1 Effet de la résistance des unités de maçonnerie et du mortier  | 9        |
| 1.1.1.2 Effet du rapport hauteur/épaisseur (h/t)   | 11       |
| 1.1.1.3 Effet de la géométrie des joints   | 11       |
| 1.1.1.4 Résistance des murs versus prismes   | 12       |
| 1.1.2 Relation entre le module d'élasticité et la résistance à la compression des prismes de maçonnerie        | 13       |
| 1.1.3 Comportement des prismes de maçonnerie en compression  | 13       |
| 1.1.4 Rupture des prismes en compression   | 14       |
| 1.1.5 Méthodes de détermination de la résistance à la compression  | 15       |
| 1.1.5.1 Méthode empirique  | 15       |
| 1.1.5.2 Méthode de l'analyse élastique   | 15       |
| 1.1.5.3 Théorie de la rupture basée sur la résistance des briques et du mortier sous contraintes multi-axiales | 20       |
| 2 Les composites à base de Diss  | 23       |
| 2.1 Microstructure des matériaux composites à base cimentaire  | 24       |
| 2.2 Fibres   | 25       |
| 2.3 Le milieu poreux   | 29       |
| 2.4 Compatibilité des granulats avec la matrice cimentaire   | 31       |
| 2.5 Propriétés thermiques  | 32       |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CHAPITRE II : Matériaux et Techniques Expérimentales concernant la maçonnerie</b>                                       | <b>35</b> |
| 2.1 Matériaux  | 36        |
| 2.1.1 Unités de maçonnerie d'Amérique du Nord  | 36        |
| 2.1.2 Unités de maçonnerie de la région de Annaba  | 36        |
| 2.2 Techniques expérimentales  | 37        |
| 2.2.1 Techniques expérimentales pour essais de compression des prismes des briques de l'Amérique du Nord                   | 37        |
| 2.2.1.1 Instrumentation  | 37        |
| 2.2.1.2 Procédure de l'essai   | 37        |
| 2.2.2 Techniques expérimentales pour essais de compression des panneaux des briques de la région de Annaba                 | 38        |
| 2.3 Techniques expérimentales pour essais d'absorption des briques de l'Amérique du Nord                                   | 38        |
| 2.4 Techniques expérimentales pour essais d'absorption des briques de la région de Annaba                                  | 39        |
| <br>   |           |
| <b>CHAPITRE III : Résultats Expérimentaux et Interprétation des résultats concernant la maçonnerie et ses constituants</b> | <b>40</b> |
| 3. Résultats et interprétations  | 41        |
| 3.1 Résultats expérimentaux  | 41        |
| 3.2 Mode de rupture  | 43        |
| 3.3 Interprétations des résultats  | 43        |
| 3.4 Conclusions  | 44        |
| <br>   |           |
| <b>CHAPITRE IV : Matériaux et Techniques Expérimentales concernant les composites</b>                                      | <b>46</b> |
| 4. Matériaux   | 47        |
| 4.1 Choix du Matériau de Base  | 47        |
| 4.2 Traitements Utilisés   | 48        |
| 4.2.1 Traitement thermique   | 48        |
| 4.2.2 Traitement chimique  | 48        |
| 4.2.3 Traitements physiques  | 49        |
| a) Traitement au bitume  | 49        |
| b) Traitement à l'huile de lin   | 49        |
| 4.3 Essais D'absorption des Fibres en Phase Liquide  | 49        |
| 4.3.1 Procédure de l'essai   | 49        |
| 4.4 Essais d'absorption des Fibres en Phase Vapeur   | 50        |
| 4.4.1 Procédure de l'essai   | 50        |



|   |           |
|---|-----------|
| 4.5 Essais de Prise   | 51        |
| 4.6 Essais de Résistances   | 53        |
| 4.7 Module d'élasticité Dynamique   | 55        |
| 4.7.1 Module d'élasticité dynamique   | 55        |
| 4.8 Essais d'hydratation  | 57        |
| 4.8.1 Compatibilité chimique ciment-fibres végétales  | 57        |
| 4.9 Etude des Variations Dimensionnelles  | 58        |
| 4.9.1 Variations dimensionnelles au séchage   | 58        |
| 4.9.2 Variations dimensionnelles et pondérales extrêmes   | 58        |
| 4.10 Capillarité  | 59        |
| 4.10.1 Propriétés hydriques des matériaux   | 59        |
| 4.10.2 Détermination de la sorptivité   | 61        |
| 4.10.3 Détermination de la diffusivité hydrique   | 61        |
| 4.11 Essais de TPS  | 64        |
| 4.11.1 Propriétés thermiques des matériaux : conductivité thermique   | 64        |
| 4.12 Essais Mécaniques sur les Fibres   | 65        |
| <br>  |           |
| <b>CHAPITRE V : Résultats Expérimentaux et Interprétation des<br/>                  Résultats Concernant les composites</b> | <b>67</b> |
| 5.1 Essais dur fibres de diss   | 68        |
| 5.1.1 Constituants organiques   | 70        |
| 5.1.2 Constituants lignocellulosiques [Bahlouli et al (2007)]   | 70        |
| 5.1.3 Constituants Hydrosolubles par traitement thermique   | 71        |
| 5.2 Essais d'absorption en Phase Liquide  | 72        |
| 5.2.1 Résultats Expérimentaux   | 72        |
| 5.2.2 Interprétation de résultats   | 73        |
| 5.3 Essais d'absorption en Phase Vapeur   | 74        |
| 5.3.1 Résultats Expérimentaux   | 74        |
| 5.3.2 Interprétation de résultats   | 74        |
| 5.4 Essais de Module d'élasticité Dynamique   | 75        |
| 5.4.1 Résultats Expérimentaux   | 75        |
| 5.4.2 Interprétation de résultats   | 77        |
| 5.5 Résistances Mécaniques  | 78        |
| 5.5.1 Résultats Expérimentaux   | 78        |
| 5.5.2 Interprétation de résultats   | 80        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.5.2.1 Composites de diss non bouilli   | <b>80</b>  |
| 5.5.2.2 Composites de diss bouilli   | <b>82</b>  |
| 5.5.2.3 Composites de diss prémouillé  | <b>84</b>  |
| 5.5.2.4 Composites de diss enrobé de huile de lin  | <b>85</b>  |
| 5.5.2.5 Composites de diss enrobé de bitume  | <b>87</b>  |
| 5.5.2.6 Comparaison entre les résistances à la compression sur la<br>résistance à la flexion         | <b>89</b>  |
| 5.6 Variations Dimensionnelles   | <b>90</b>  |
| 5.6.1 Variations dimensionnelles de séchage  | <b>90</b>  |
| 5.6.2 Variations dimensionnelles extrêmes  | <b>91</b>  |
| 5.6.2.1 Résultats Expérimentaux  | <b>91</b>  |
| 5.6.2.2 Interprétation de résultats  | <b>92</b>  |
| 5.7 Essais de Capillarite  | <b>94</b>  |
| 5.7.1 Résultats expérimentaux  | <b>94</b>  |
| 5.7.2 Interprétation de résultats  | <b>99</b>  |
| 5.7.2.1 Taux d'absorption  | <b>99</b>  |
| 5.7.2.2 Influence des différents traitements sur l'absorption initiale                               | <b>99</b>  |
| 5.7.2.3 Influence des différents traitements sur l'absorption à saturation<br>et la sorptivité       | <b>100</b> |
| 5.7.2.4 Comparaison entre l'absorption des composites par capillarité et<br>par immersion dans l'eau | <b>101</b> |
| 5.8 Essais de Conductibilité Thermique   | <b>102</b> |
| 5.8.1 Résultats expérimentaux  | <b>102</b> |
| 5.8.2 Interprétation de résultats  | <b>104</b> |
| 5.9 Influence du pourcentage de fibres sur les caractéristiques mécaniques                           | <b>105</b> |
| 5.9.1 Essais de résistances mécaniques   | <b>105</b> |
| 5.9.2 Modules d'élasticité Dynamique   | <b>105</b> |
| 5.9.3 Interprétation des résultats   | <b>106</b> |
| 5.10 Influence des composites hydrosolubles sur les caractéristiques<br>mécaniques des composites    | <b>108</b> |
| 5.10.1 Influence des procédés de rinçage des fibres sur les modules<br>d'élasticité dynamique        | <b>108</b> |
| 5.10.2 Influence des procédés de rinçage des fibres sur les Résistances<br>Mécaniques                | <b>109</b> |
| 5.10.3 Interprétation des résultats  | <b>110</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>CHAPITRE VI : Conclusions</b>                             | <b>111</b> |
| 6.1. Maçonnerie  | <b>112</b> |
| 6.2. fibres végétales  | <b>113</b> |
| 6.2.1 Influence du traitement thermique                      | <b>113</b> |
| 6.2.2 Influence du traitement par prémouillage               | <b>115</b> |
| 6.2.3 Influence du traitement à l'huile de lin               | <b>115</b> |
| 6.2.4 Influence du traitement au bitume                      | <b>115</b> |
| 6.2.5 Influence des fibres sur la résistance                 | <b>115</b> |
| 6.2.6 Influence des matières hydrosolubles sur la résistance | <b>116</b> |
| 6.3 Composites   | <b>116</b> |
| <b>Bibliographie</b>   | <b>118</b> |

## **LISTE DES FIGURES**

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>1.1</b>  | Résistance à la compression des prismes de maçonnerie en fonction de la résistance des mortiers (Grenley 1969)  | <b>10</b> |
| <b>1.2</b>  | Résistance à la compression des prismes de maçonnerie en fonction de la résistance des unités de maçonnerie (Grenley 1969)  | <b>10</b> |
| <b>1.3</b>  | Effet de l'orientation des joints sur la résistance à la compression des assemblages des briques ( Hamid et Drysdale 1980)  | <b>12</b> |
| <b>1.4</b>  | Idéalisation de la distribution des contraintes dans les unités de maçonnerie soumises à des contraintes de compression uniformes, d'après Hildsorf (1969) et Atkinson et al (1985) | <b>14</b> |
| <b>1.5</b>  | (a) Prisme sous charge de compression ; (b) Etat de contraintes dans la brique et le mortier, d'après Atkinson et al (1985).  | <b>16</b> |
| <b>1.6</b>  | Contraintes dans les briques et le mortier, d'après Atkinson et al (1985).  | <b>19</b> |
| <b>1.7</b>  | Théorie de rupture des prismes de maçonnerie (Hildsorf 1969).   | <b>21</b> |
| <b>1.8</b>  | Plante de diss  | <b>24</b> |
| <b>1.9</b>  | Tiges de diss ( <i>ampelodesma mauritanica</i> )  | <b>24</b> |
| <b>1.10</b> | Fibres de diss broyées  | <b>24</b> |
| <b>1.11</b> | Fibres de Diss broyées et bouillies   | <b>24</b> |
| <b>1.12</b> | Effet d'un certain nombre de bois sur l'hydratation d'un ciment Portland, d'après Moslemi (2002)  | <b>32</b> |
| <b>2.1</b>  | Montage pour essais de compression et module d'élasticité   | <b>37</b> |
| <b>2.2</b>  | a) Montage d'un panneau en compression axiale, b) appareils de mesure des déformations  | <b>38</b> |
| <b>2.3</b>  | a) Immersion des briques dans l'eau, b) Pesées des échantillons   | <b>39</b> |
| <b>3.1</b>  | Résistance à la compression des prismes versus Résistance des unités de maçonnerie des briques de l'Amérique du Nord  | <b>42</b> |
| <b>3.2</b>  | Résistance à la compression des prismes versus Résistance des unités de maçonnerie des briques de la région de Annaba   | <b>42</b> |
| <b>4.1</b>  | (a) Montage pour essai d'absorption, (b) essorage de l'échantillon  | <b>50</b> |
| <b>4.2</b>  | (a) Montage pour essai d'adsorption, (b) Mise à vide des échantillons des fibres  | <b>51</b> |
| <b>4.3</b>  | Photographie (a) appareil de Vicat, (b) Essai de prise  | <b>52</b> |
| <b>4.4</b>  | Photographie du prisomètre automatique  | <b>52</b> |
| <b>4.5</b>  | Photographie de la presse pour essai de flexion   | <b>53</b> |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>4.6</b>  | Photographie de la presse pour essai de compression  | <b>54</b> |
| <b>4.7</b>  | Photographie de la presse pour essai de compression et de flexion  | <b>54</b> |
| <b>4.8</b>  | Photographie de la table à chocs   | <b>55</b> |
| <b>4.9</b>  | Appareil Ultrasonic Tester type E0641  | <b>56</b> |
| <b>4.10</b> | Exemple type de courbe température/temps lors de l'hydratation   | <b>57</b> |
| <b>4.11</b> | Dispositif expérimental pour l'essai d'inhibition  | <b>58</b> |
| <b>4.12</b> | (a) Immersion des échantillons, (b) Photographie du rétractomètre  | <b>59</b> |
| <b>4.13</b> | Schéma du dispositif expérimental pour l'essai d'imbibition capillaire   | <b>60</b> |
| <b>4.14</b> | Montage expérimental pour l'essai d'imbibition capillaire  | <b>60</b> |
| <b>4.15</b> | Exemple de profil type $\theta(b)$   | <b>63</b> |
| <b>4.16</b> | Découpe des échantillons à différentes hauteurs pour la détermination des profils hydriques par la méthode gravimétrique, d'après M. S Goual (200) | <b>63</b> |
| <b>4.17</b> | Dispositif expérimental utilisé pour la mesure de la conductivité thermique  | <b>64</b> |
| <b>4.18</b> | Mise en place de la sonde TPS  | <b>65</b> |
| <b>4.19</b> | Machine de traction pour composites  | <b>66</b> |
| <b>5.1</b>  | Four de marque Nabertherm  | <b>69</b> |
| <b>5.2</b>  | Analyse par diffraction au rayon X (a) Diss naturel non bouilli, (b) Diss naturel bouilli  | <b>69</b> |
| <b>5.3</b>  | Analyse par diffraction au rayon X (a) Diss Calciné non bouilli, (b) Diss Calciné bouilli  | <b>69</b> |
| <b>5.4</b>  | Essais d'absorption des fibres de diss naturel ou traités thermiquement  | <b>72</b> |
| <b>5.5</b>  | Essais d'absorption des fibres de diss enrobées de huile de lin ou bitume  | <b>73</b> |
| <b>5.6</b>  | Essais d'absorption en phase vapeur des fibres de diss avec ou sans traitements  | <b>74</b> |
| <b>5.7</b>  | Echantillons soumis aux essais d'adsorption  | <b>75</b> |
| <b>5.8</b>  | Module d'Elasticité Dynamique des composites à base de diss non bouilli et bouilli   | <b>75</b> |
| <b>5.9</b>  | Module d'Elasticité Dynamique des composites à base de diss non bouilli et bouilli et prémouillé   | <b>76</b> |
| <b>5.10</b> | Module d'Elasticité Dynamique des composites à base de diss non bouilli et bouilli et diss enrobé de huile de lin et bitume                        | <b>77</b> |

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>5.11</b> | Essais de Résistances des composites à base de diss non bouilli et bouilli   | <b>78</b> |
| <b>5.12</b> | Essais de Résistances des composites à base de diss non bouilli et bouilli et prémouillé   | <b>79</b> |
| <b>5.13</b> | Essais de Résistances des composites à base de diss non bouilli et bouilli et diss enrobé de huile de lin et bitume  | <b>79</b> |
| <b>5.14</b> | Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss non bouilli, agrandissement x 1000  | <b>81</b> |
| <b>5.15</b> | Composites de diss non bouilli (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression  | <b>81</b> |
| <b>5.16</b> | Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss non bouilli, agrandissements (a) de 25 et (b) de 50.                    | <b>81</b> |
| <b>5.17</b> | Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss bouilli, agrandissement x 1000  | <b>83</b> |
| <b>5.18</b> | Composites de diss bouilli (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression  | <b>83</b> |
| <b>5.19</b> | Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli, agrandissements (a) de 50 et (b) de 175.                       | <b>84</b> |
| <b>5.20</b> | Composites de diss bouilli prémouillé (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression   | <b>85</b> |
| <b>5.21</b> | Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli prémouillé, agrandissements (a) de 25 et (b) de 50              | <b>85</b> |
| <b>5.22</b> | Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss bouilli, enrobé de huile de lin, agrandissement x 1000  | <b>86</b> |
| <b>5.23</b> | Composites de diss bouilli enrobé de huile de lin (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression   | <b>86</b> |
| <b>5.24</b> | Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli enrobé de huile de lin, agrandissements (a) de 50 et (b) de 50. | <b>87</b> |
| <b>5.25</b> | Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss bouilli, enrobé de bitume, agrandissement x 1000  | <b>88</b> |
| <b>5.26</b> | Composites de diss bouilli enrobé de bitume (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression   | <b>88</b> |
| <b>5.27</b> | Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli enrobé de bitume, agrandissements (a) de 25 et (b) de 50.       | <b>88</b> |
| <b>5.28</b> | Rapports des résistances à la compression sur les résistances à la flexion   | <b>89</b> |
| <b>5.29</b> | Pourcentage de pertes de masses de séchage des différents  | <b>90</b> |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
|             | composites   |            |
| <b>5.30</b> | Retrait de séchage des différents composites   | <b>90</b>  |
| <b>5.31</b> | Comparaison des variations dimensionnelles extrêmes  | <b>91</b>  |
| <b>5.32</b> | Comparaison des déformations en cas extrêmes avec les résistances  | <b>92</b>  |
| <b>5.33</b> | Absorption par immersion pour essais VDE   | <b>93</b>  |
| <b>5.34</b> | Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss non bouilli   | <b>94</b>  |
| <b>5.35</b> | Sorptivité des composites de diss non bouilli  | <b>94</b>  |
| <b>5.36</b> | Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss bouilli   | <b>95</b>  |
| <b>5.37</b> | Sorptivité des composites de diss bouilli  | <b>95</b>  |
| <b>5.38</b> | Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss prémouillé  | <b>96</b>  |
| <b>5.39</b> | Sorptivité des composites de diss prémouillé   | <b>96</b>  |
| <b>5.40</b> | Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss enrobé de huile de lin  | <b>97</b>  |
| <b>5.41</b> | Sorptivité des composites de diss enrobé de huile de lin   | <b>97</b>  |
| <b>5.42</b> | Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss enrobé de bitume  | <b>98</b>  |
| <b>5.43</b> | Sorptivité des composites de diss enrobé de bitume   | <b>98</b>  |
| <b>5.44</b> | Comparaison des cinétiques initiales d'absorption  | <b>99</b>  |
| <b>5.45</b> | Comparaison des absorptions par capillarité ou par immersion dans l'eau  | <b>102</b> |
| <b>5.46</b> | Résistances mécaniques des composites Diss/Ciment =5.0, pour différents rapports E/C   | <b>105</b> |
| <b>5.47</b> | Modules d'Elasticité Dynamique pour les composites Diss/Ciment =5.0, pour différentes formulations.                                      | <b>106</b> |
| <b>5.48</b> | Composite de diss bouilli 5 :1 :0.8, après essai de compression et flexion   | <b>107</b> |
| <b>5.49</b> | Modules d'élasticité Dynamique à 28 jours pour différents états  | <b>109</b> |
| <b>5.50</b> | Résistances Mécaniques à 28 jours pour différents états  | <b>109</b> |
| <b>6.1</b>  | Température d'Hydratation des pâtes de ciment avec l'eau du réseau et l'eau résidu de l'ébullition des fibres en fonction du temps       | <b>114</b> |
| <b>6.2</b>  | Comparaison des enfoncements de l'aiguille de l'essai de prise de la pâte de ciment avec l'eau du réseau et l'eau résidu de l'ébullition | <b>114</b> |

## *LISTE DES TABLEAUX*

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| <b>2.1</b>  | caractéristiques des unités de briques de l'Amérique du Nord   | <b>36</b>  |
| <b>2.2</b>  | Caractéristiques géométrique des briques de la région de Annaba  | <b>36</b>  |
| <b>3.1</b>  | Caractéristiques mécaniques et hydriques des briques de la région de Amérique du Nord (Merzoud 1987)             | <b>41</b>  |
| <b>3.2</b>  | Caractéristiques mécaniques et hydriques des briques de la région de Annaba (Grine 2002)                         | <b>41</b>  |
| <b>3.3</b>  | Résistance à la compression et module d'élasticité des prismes de la région de l'Amérique du Nord (Merzoud 1987) | <b>41</b>  |
| <b>3.4</b>  | Résistance à la compression et module d'élasticité des prismes de la région de Annaba (Grine 2002)               | <b>42</b>  |
| <b>5.1</b>  | Composés organiques dans les fibres de diss  | <b>70</b>  |
| <b>5.2</b>  | Composés lignocellulosiques dans les fibres de diss  | <b>70</b>  |
| <b>5.3</b>  | Pourcentage des matières organiques éliminées par ébullition   | <b>71</b>  |
| <b>5.4</b>  | Pourcentage des matières minérales et organiques dans les fibres de diss   | <b>71</b>  |
| <b>5.5</b>  | Essais de prise avec différentes eaux de gâchage   | <b>82</b>  |
| <b>5.6</b>  | Résultats des absorptions et de la sorptivité par capillarité  | <b>100</b> |
| <b>5.7</b>  | Comparaison des absorptions par capillarité et par immersion   | <b>101</b> |
| <b>5.8</b>  | Résultats des paramètres thermiques des composites   | <b>103</b> |
| <b>5.9</b>  | Moyenne des conductibilités thermiques des composites  | <b>103</b> |
| <b>5.10</b> | Quelques valeurs des conductibilités thermiques des certains matériaux   | <b>104</b> |
| <b>5.11</b> | Résultats des paramètres thermiques des composites, D/C=5.0  | <b>107</b> |
| <b>5.12</b> | Moyenne des conductibilités thermiques des composites, D/C=5.0   | <b>107</b> |



# **INTRODUCTION**

L'utilisation de co-produits végétaux dans la construction est très répandue dans les pays développés pour son impact écologique, et surtout économique. L'allègement des matériaux de remplissage dans la construction présentent les intérêts suivants :

- Economie du poids qui se répercutent de la superstructure jusqu'aux fondations.
- Economie de ferrailage dans les éléments structuraux.
- Meilleure isolation thermique (économie de chauffage).
- Coffrages plus légers.

Du point de vue économique, on devrait alors estimer le prix de revient de l'ouvrage et non celui du matériau lui-même.

La principale préoccupation des bâtisseurs concerne la pérennité de leurs constructions. Cette dernière était rendue possible par l'emploi de matériaux performants en termes de résistance mécanique et de durabilité. Les aspects de confort n'étaient traités qu'à posteriori. Le principe de construction reposait sur la juxtaposition de différents matériaux, chacun ayant une tâche dévolue. Cependant, cette accumulation de différents matériaux s'avère de moins en moins intéressante, car ils deviennent coûteux et finissent par occuper un volume non négligeable. La tendance actuelle dans la construction individuelle, est donc de favoriser des produits composites capables de remplir plusieurs usages. Le bâtisseur ne cherche plus seulement la performance mécanique mais il tente également d'améliorer les qualités thermiques et hydriques. Ce changement de point de vue explique le développement récent de matériaux légers, capables de jouer un rôle en tant qu'isolants, tout en conservant de niveaux de performances suffisants.

L'intérêt d'utiliser des matériaux légers est justifié par la prise en conscience environnementale. Cette dernière s'exprime de deux manières différentes. Les matériaux allégés sont de bons isolants thermiques compte tenu du volume d'air qu'ils contiennent. Ils permettent de réaliser des économies d'énergie substantielles. De plus, l'utilisation de granulats végétaux s'inscrit dans une démarche de développement durable. Elle présente l'avantage d'utiliser une matière première renouvelable généralement chaque année, contrairement aux granulats de carrières dont les ressources s'appauvrissent.

Le travail présenté n'a pas de vocation écologique. Il vise simplement à montrer que l'emploi de granulats végétaux peut offrir de nouvelles perspectives de développement des matériaux de construction.

### **1° Les bétons légers :**

Les bétons légers sont des bétons à haute porosité et dont la masse volumique se situe dans les limites de 300 à 1900 kg/m<sup>3</sup>.

→ Suivant le mode de création de la porosité artificielle, les bétons légers se subdivisent selon les groupes suivants :

1°) Bétons légers à agrégats légers et poreux

2°) Bétons à gros pores (sans sable), préparés avec des gros agrégats compacts ou poreux d'une seule fraction sans sable.

3°) Bétons cellulaires dont la structure est représentée par des cellules créées artificiellement et remplaçant les grains des agrégats.

→ En fonction de leur destination, les bétons légers se subdivisent en :

1°) bétons d'isolation thermique, destinés à assurer la fonction d'isolation, leur masse volumique est inférieure à 500 kg/m<sup>3</sup>, et leur coefficient de conductibilité thermique ne dépasse pas 0.20 W/m.°C.

2°) Bétons d'isolation thermique et de résistance, leur masse volumique varie entre 500 et 1400 kg/m<sup>3</sup>, leur coefficient de conductibilité thermique ne dépasse pas 0.60

3°) Bétons destinés à supporter les charges du bâtiment, leur masse volumique varie entre 1400 et 1900 kg/m<sup>3</sup>, et une conductibilité thermique variant entre 1.0 et 2.1 W/m.°C.

### **2 Matériaux et éléments calorifuges et phoniques :**

#### **2-1 Matériaux et éléments calorifuges:**

Les matériaux destinés à la protection contre le froid et la chaleur sont appelés « matériaux calorifuges ». Ce sont en général les matériaux très poreux dont la masse volumique est au plus égale à 600 kg/m<sup>3</sup>, et dont le coefficient de conductibilité thermique ne dépasse pas 0.20 W/m.°C.

En employant dans la construction les matériaux calorifuges, on peut réduire sensiblement les pertes de chaleur dans le milieu ambiant à travers les éléments de

remplissage et diminuer ainsi la dépense d'énergie ; en effet chaque tonne de matériau calorifuge utilisé de manière convenable peut économiser 30 à 200 tonnes de combustible conventionnel par an. Cela explique une grande efficacité économique de l'isolement thermique.

### 2-2) Structure et propriétés des matériaux calorifuges:

La capacité d'isolement thermique d'un matériau dépend non seulement du degré de porosité, mais aussi du type de pores, de leur répartition, de leur grandeur et du fait qu'ils sont ouverts ou fermés.

Les meilleurs matériaux d'isolation thermique sont ceux qui contiennent un plus grand nombre de pores menus et fermés, remplis d'air. Etant immobile, l'air a un très petit coefficient de conductibilité thermique (à 20°C il est de 0.020 W/m.°C).

Si l'on examine au microscope la structure d'un corps à haute porosité à pores menus ou fermés, on verra beaucoup de bulles d'air séparées l'une de l'autre par une petite paroi de substance très mince. La somme de ces bulles d'air conductibles entrave le passage de la chaleur ou du froid et rend le matériau tout entier thermiquement peu conductible. Afin que les qualités isolantes des matériaux soient meilleures, il faut qu'il y ait sur la voie du flux de chaleur, le plus de bulles d'air et que les parois de séparation minces soient disposées en forme de nids d'abeilles.

La capacité d'isolement de l'air est exprimée le plus lorsqu'il est au repos, car l'air en mouvement contribue au transfert de la chaleur. La structure d'un matériau à gros pores allongés, détermine l'apparition des flux d'air de convection, ce qui augmente le transfert de la chaleur à travers le matériau. Plus le volume d'air inclus dans les pores est petit, plus la mobilité est moindre et plus ses qualités isolantes sont meilleures.

Les qualités thermo isolantes des matériaux dépendent aussi du rapport des volumes inclus dans les cellules et de la substance solide faisant partie de l'unité de volume du matériau considéré. Plus la couche de la substance solide entourant la bulle d'air est mince, plus les qualités de protection thermiques sont moindres.

Dans les matériaux de très haute porosité et de masse volumique très petite, le volume d'air y inclus et ses qualités d'isolement thermiques sont tellement grandes que la substance solide joue un rôle insignifiant dans le transfert de la chaleur. Pour ces matériaux, le coefficient de conductibilité thermique peut se rapprocher du coefficient de conductibilité thermique de l'air.

Si l'on compare la conductibilité thermique des matériaux de même composition, mais de porosités différentes, on peut voir que le coefficient de conductibilité thermique est presque proportionnel à la masse volumique du matériau, c'est-à-dire à la teneur en substances solides.

Les pores et les canaux poreux peuvent être faits dans un matériau en l'écumant, en introduisant pendant sa fabrication des additions gazogènes, en collant par contact ou en frittant les grains et les particules séparées d'un matériau, par la pose mutuelle d'un grand nombre de fibres, etc...

La structure d'un matériau influe sensiblement sur ses qualités de protection contre la chaleur, ce qui est exprimé surtout dans les matériaux de structure fibreuse. La conductibilité thermique du bois le long des fibres est à peu près deux fois plus grande qu'à travers les fibres. Pour des matériaux calorifuges pulvérulents, la grosseur des grains est d'une importance pour leurs qualités d'isolement thermiques.

Avec la diminution des grains, les qualités de protection thermiques du matériau s'améliorent, ce qui est vrai même pour le cas où sa masse volumique reste constante.

En considérant ainsi la structure générale des matériaux calorifuges, on peut en conclure que les pores remplis d'air communiquent aux matériaux une petite conductibilité thermique, mais si la surface des pores est couverte d'une pellicule d'eau ou si les pores sont remplis d'eau, leurs qualités d'isolement thermique sont brusquement réduites. Cela s'explique par le fait que le coefficient de conductibilité thermique de l'eau est sensiblement supérieur à celui de l'air (de 25 fois à peu près). Les matériaux calorifuges en service doivent donc être protégés contre l'humectation.

### **3° Classification des matériaux et éléments calorifuges:**

Les matériaux et éléments calorifuges se distinguent en fonction des critères suivants : structure, forme, nature de la matière de base, masse volumique, compressibilité thermique.

En fonction de la structure, les matériaux calorifuges sont classés en matériaux fibreux (à base de laine minérale, de fibre de verre, etc...) ; matériaux granuloporeux (à base de perlite, vermiculite, de sovelite, silico-calcaires, etc...) ; matériaux cellulaires (articles de bétons cellulaires, verre mousse, mousses plastiques).

D'après la forme, on distingue les matériaux calorifuges livrés par pièce (panneaux, blocs, briques, cylindres, demi-cylindres, segments), en rouleaux (matelas, bandes, nattes, etc...), en cordons (cordons, torons), en poudre.

Suivant la nature de la matière première : les matériaux calorifuges sont divisés en matériaux inorganiques et matériaux organiques.

Suivant la masse volumique : les matériaux calorifuges sont répartis en trois groupes : les matériaux très légers entre 15 et 100 kg/m<sup>3</sup>, les matériaux légers dont la masse volumique varie entre 125 et 350 kg/m<sup>3</sup> et les matériaux lourds dont la masse volumique se situe entre 400 et 600 kg/m<sup>3</sup>.

Suivant la compressibilité (déformation relative de compression), sous une charge spécifique, les matériaux calorifuges sont classés en trois catégories : en matériaux mous, semi rigides et rigides ; Pour les matériaux mous la compressibilité ne doit pas dépasser 30%, pour les semi rigides 6 à 30% et pour les rigides 6% au plus.

#### **4° Matériaux et éléments organiques pour isolation thermique :**

Les matériaux et éléments organiques calorifuges sont fabriqués avec des matières végétales : déchets de bois (copeaux, sciures, etc...), roseaux, tourbe, étoupe de lin, débouffures de chanvre, laine animale, ainsi qu'à base de polymères.

Nombre de matériaux calorifuges organiques sont exposés aux putréfactions rapides par le feu, aussi sont-ils au préalable soumis à des traitements de protection. Comme l'utilisation des matériaux organiques comme de remplissage est peu rentable, par suite des tassements inévitables et des possibilités de putréfaction, on emploie ces matériaux comme matière première servant à la fabrication de panneaux. Dans les panneaux, le matériau de base est presque complètement protégé contre l'humidité et contre la putréfaction, de plus, au cours de la fabrication des panneaux il subit le traitement des antiseptiques et antipyrènes qui prolongent sa durabilité.

#### **5° Matériaux et éléments calorifuges en matière organique:**

Parmi la grande variété de produits calorifuges en matière organique, un intérêt particulier présentent les panneaux de fibres de bois, les panneaux de roseaux, les panneaux en fibrolite, les plaques de tourbes, l'isolement thermique en liège naturel, ainsi que les mousses plastiques pour isolation thermique.

Les panneaux de fibres de bois sont utilisés pour l'isolation thermique et phonique des structures de protection. Ils sont obtenus, à partir du bois trituré ou d'autres fibres végétales : bois de rebut, déchets de l'industrie forestière, chènevotte, paille, roseaux, cotonnier. Les plus répandus sont les panneaux fabriqués avec des déchets de bois. Le processus de fabrication des panneaux de fibres de bois pour isolation thermique

comporte les opérations suivantes : broyage et trituration du bois, encollage de la masse fibreuse, formage et traitement thermique.

Les matériaux à base de plantes lignocellulosiques a été l'objet de plusieurs marques d'intérêt ces dernières décennies. Néanmoins, ce type de composites présente en général l'inconvénient d'être sensible à l'eau. Leur utilisation dans la construction a souvent été limitée à l'état naturel, mais des traitements ont été développés visant à améliorer leurs caractéristiques mécaniques, hydriques et leurs variations dimensionnelles.

Ce travail rentre dans ce type de préoccupations, de façon à utiliser les fibres de diss dans des composites à matrice cimentaire comme briques ou éléments de remplissages dans les structures.

Ce document rassemble les résultats obtenus et organisés en cinq parties :

La première partie est consacrée à un rappel bibliographique sur le comportement des panneaux de maçonnerie en compression, cisaillement et compression diagonale et sur les unités de maçonnerie, ainsi que sur certaines propriétés d'un ou plusieurs matériaux rentrant dans la composition des murs ou panneaux de maçonnerie. Une partie de la bibliographie est réservée aux composites à base de végétaux ou de matériaux similaires.

La deuxième partie traite le comportement de la maçonnerie sous différentes sollicitations, ainsi que les différentes techniques expérimentales concernant la caractérisation des murs en maçonnerie.

La troisième partie concerne les résultats expérimentaux et l'interprétation des résultats concernant la maçonnerie et ses constituants.

La quatrième partie traite de l'ensemble des composants constituant les matériaux composites élaborés, ainsi que les formulations considérées et les techniques expérimentales utilisées pour caractériser le produit fini.

La cinquième partie rassemble les résultats expérimentaux, et les interprétations pour les différents traitements utilisés. L'analyse des résultats permettra ensuite de dégager les différentes formulations optimums pour chaque traitement.

Enfin une conclusion après avoir bien assimilé les caractéristiques des matériaux composites élaborés comme remplissage dans les constructions.

## **CHAPITRE I**

### **Généralités et Rappels bibliographiques**



## **1 La maçonnerie**

Depuis plusieurs décennies, des recherches ont été effectuées sur l'étude du comportement des remplissages en maçonnerie et leur contribution à la capacité des structures. Ces recherches ont aussi été faites pour établir la résistance de la maçonnerie sous différentes sollicitations, ainsi que l'interaction entre les briques et le mortier.

### **1.1 Résistance à la compression de la maçonnerie**

La résistance à la compression de la maçonnerie dépend principalement de la résistance des unités de maçonnerie et de celle du mortier. Généralement, dans les maçonneries, les hautes résistances à la compression sont sacrifiées pour augmenter ou modifier d'autres caractéristiques, comme par exemple, la résistance à l'adhésion.

La résistance à la compression peut être augmentée en utilisant des mortiers de plus grande résistance, cette amélioration, n'est toutefois proportionnelle.

Expérimentalement, la résistance à la compression peut être influencée par la résistance des unités de maçonnerie, du mortier, de la qualité de travail, de l'effet des dimensions des prismes et de la géométrie des joints. D'autres facteurs peuvent aussi influencer la résistance à la compression à de moindres degrés, comme l'épaisseur des joints de mortier, la régularité des surfaces portantes des unités, le type de coiffes, ainsi que la vitesse de chargement.

#### **1.1.1 Facteurs influençant la résistance à la compression :**

##### **1.1.1.1 Effet de la résistance des unités de maçonnerie et du mortier :**

Cinq mortiers de différentes résistances et quatre types différents de briques ont été étudiés par Grenley (1969). La résistance des mortiers a été modifiée par l'ajout de quantités variables de latex.

Les résultats de ces essais (figure 1.1) ont montré que l'augmentation de la résistance à la compression des assemblages de briques est liée d'une façon considérable à l'augmentation de la résistance à la compression des mortiers.

Les résultats de la figure 1.2 montrent que la résistance à la compression des assemblages de briques est aussi liée à l'augmentation de la résistance des unités de maçonnerie, particulièrement pour les assemblages utilisant des mortiers à haute résistance.

Les courbes de la figure 1.1 et 1.2 montrent que la résistance à la compression du mortier et des unités de maçonnerie sont des facteurs importants de la résistance des assemblages de maçonnerie.

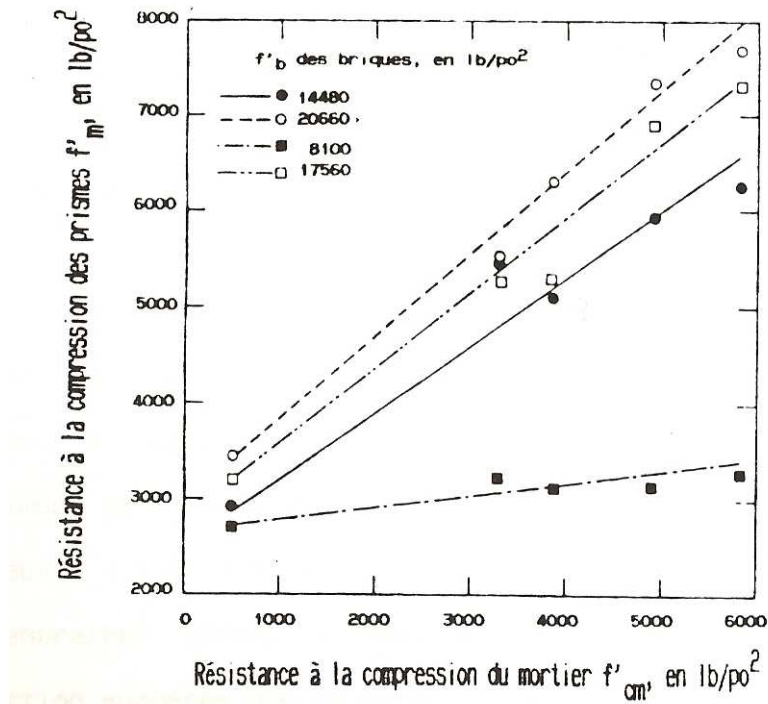


Figure 1.1 Résistance à la compression des prismes de maçonnerie en fonction de la résistance des mortiers (Grenley 1969)

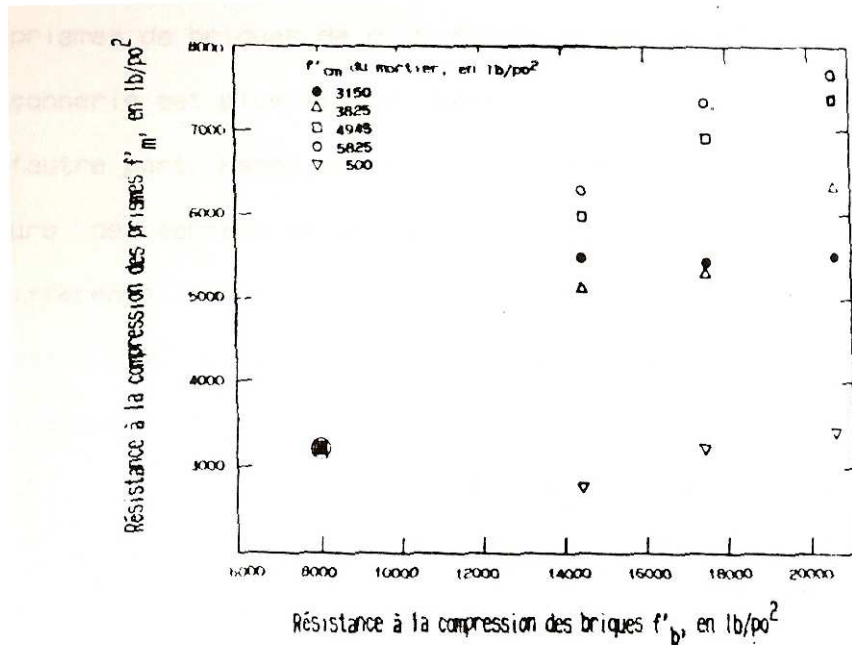


Figure 1.2 Résistance à la compression des prismes de maçonnerie en fonction de la résistance des unités de maçonnerie (Grenley 1969)

### 1.1.1.2 Effet du rapport hauteur/épaisseur (h/t) :

D'après la norme canadienne CAN3-S304-M78, la résistance des prismes de maçonnerie est dérivée des prismes ayant un rapport hauteur/épaisseur (h/t) égal à 5.0 pour les briques et égal à 2.0 pour les blocs de béton. Pour des prismes ayant des rapports de dimensions différents, le code recommande l'usage des coefficients de correction. Ceci, veut dire qu'il y a une bonne corrélation entre les spécimens de briques ou de blocs ayant les rapports respectifs (h/t) égaux à 5.0 et 2.0 avec les murs en maçonnerie à grande échelle.

Maurenbrecher (1980) a conclu expérimentalement, que les facteurs de correction suggérés par la norme peuvent être valables dans le cas de blocs de béton où parfois le rapport (h/t) d'un bloc est de l'ordre de 2.0. Ces facteurs de correction peuvent être valables pour les prismes de briques de plus faible dimension où le nombre d'unités de maçonnerie est plus significatif.

D'autre part Hegemier et al (1978), en se basant sur l'origine des facteurs de correction et sur divers essais effectués sur des prismes de différents rapports hauteur/épaisseur, ont pu confirmer la non justification de ces facteurs de correction basés sur le rapport des dimensions. Il a été, de même, observé que la résistance à la compression des prismes est fonction du nombre de joints et non du rapport (h/t) ; par exemple, des prismes à deux lits de mortier ayant le rapport (h/t) égal à 2.0, ont présenté des résistances similaires à des prismes à deux joints ayant le rapport (h/t) égal à 3.0. En se basant sur ces résultats, on peut conclure que la résistance à la compression diminue lorsque le nombre de joints augmente. D'après les observations citées ci avant, il a été recommandé que la résistance à la compression ( $f'_m$ ) des blocs de béton soit évaluée en utilisant des prismes ayant pas moins de trois joints et pas plus de quatre joints.

### 1.1.1.3 Effet de la géométrie des joints :

Les résultats d'essais de Hegemier (1978), ont montré que la résistance à la compression des prismes de briques empilées était largement supérieure à celle des prismes comprenant des joints verticaux.

Hamid et Drysdale (1980) ont rapporté les résultats d'essais de la résistance à la compression pour différentes orientations des joints de mortier par rapport à la charge de compression, et pour trois différents types de mortier (figure 1.3). On remarque alors que la courbe donnant la résistance à la compression en fonction de l'orientation des joints de mortier est de forme parabolique; la résistance minimale à la compression est obtenue pour une orientation de 30° entre le joint de mortier et la direction d'application de la charge.

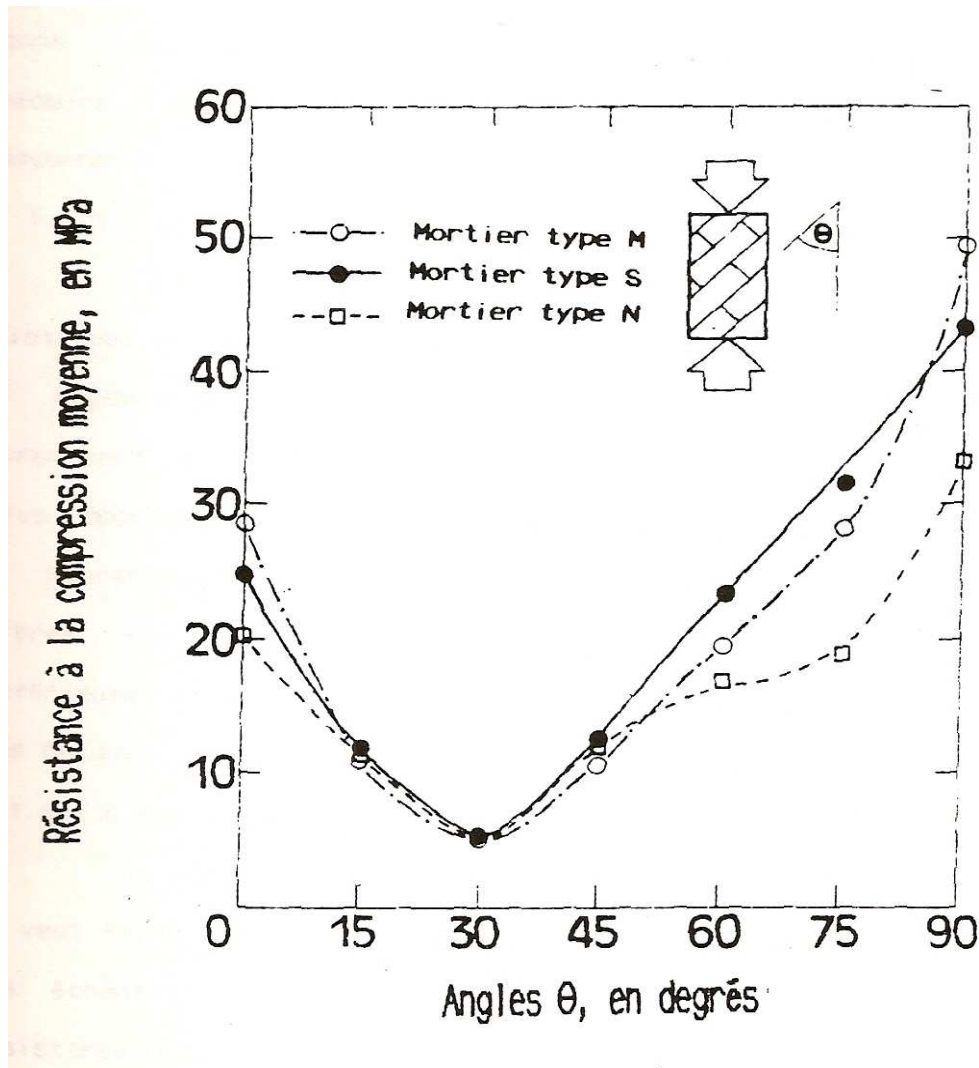


Figure 1.3 Effet de l'orientation des joints sur la résistance à la compression des assemblages des briques ( Hamid et Drysdale 1980)

#### 1.1.1.4 Résistance des murs versus prismes :

Les codes de maçonnerie supposent que l'augmentation du rapport hauteur/épaisseur de 5.0 et plus n'a aucun effet sur la résistance à la compression des murs chargés axialement. Maurenbrecher (1985) a testé des prismes ayant des rapports hauteur/épaisseur de 2.8 et 5.0 et des murs avec des rapports hauteur/épaisseur de 10.0 soumis à des charges axiales. Ces essais ont été effectués sur des prismes et blocs d'argile, ainsi que sur des blocs de béton. Les résultats de ces essais ont montré que la résistance à la compression des murs de briques est de l'ordre de 74 à 82% de la résistance des prismes. De même, la résistance des murs de blocs

de béton et des blocs d'argiles est d'environ 91 à 92% de la résistance des prismes correspondants.

### 1.1.2 Relation entre le module d'élasticité et la résistance à la compression des prismes de maçonnerie :

La norme canadienne CAN3-S304-M78 recommande une relation entre le module d'élasticité et la contrainte de compression ( $f'm$ ) pour des prismes de maçonnerie  $E=1000f'm \leq 20\ 000$  MPa.

Selon Maurenbrecher (1985), cette relation convient bien aux blocs de béton creux et pour les prismes de briques à haute résistance. Par contre, pour les briques d'argile à faible résistance et les blocs d'argile, la valeur de  $E$  serait d'environ 570 à 770  $f'm$ . Maurenbrecher recommande donc une valeur caractéristique de  $E$  de l'ordre de 700  $f'm$ .

Grimm (1975) a proposé une formule empirique basée sur la résistance à la compression et sur le rapport  $h/t$  :

$$E = 6.25 f'm [80+(h/t)] \quad (1.1)$$

avec  $f'm$  : résistance à la compression à 28 jours pour  $h/t=5.0$

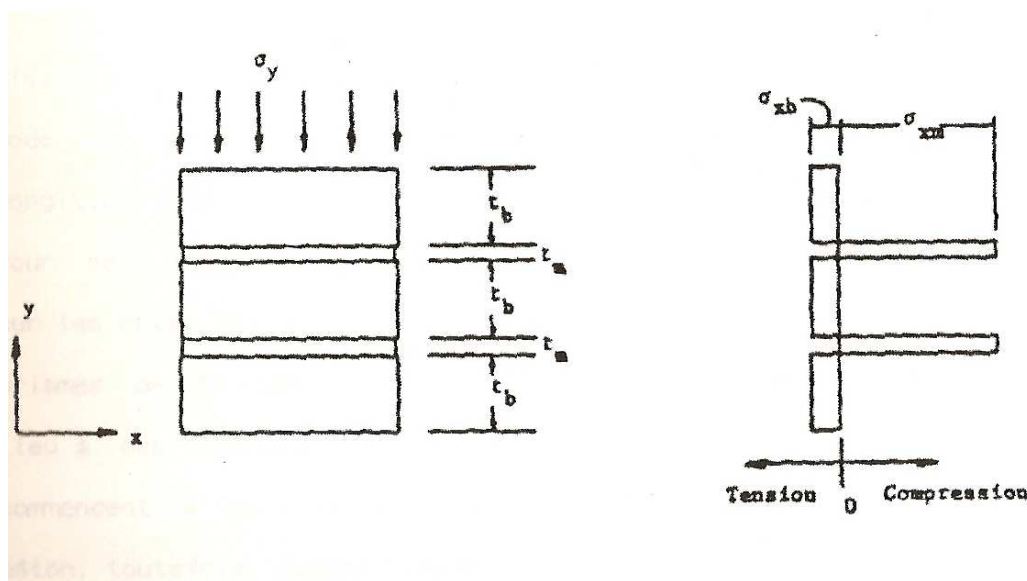
A défaut, la valeur de  $E=1000 f'm$  sera considérée sans dépasser les limites de  $21 \times 10^3$  MPa pour un travail de maçonnerie contrôlé et de  $14 \times 10^3$  MPa pour un travail non contrôlé.

### 1.1.3 Comportement des prismes de maçonnerie en compression :

Les prédictions de la résistance à la compression et des déformations axiales des murs en maçonnerie sont basées sur la résistance à la compression des prismes.

Les prismes de maçonnerie sont formés de deux matériaux ayant des résistances et déformations différentes. En général, la résistance à la compression uniaxiale ainsi que le module d'élasticité du mortier sont inférieurs aux valeurs correspondantes des unités de maçonnerie. Par conséquent, si le mortier peut se déformer librement, ses déformations latérales sont plus grandes que celles des briques. Ceci est spécialement vrai quand la charge extérieure s'approche de la résistance à la compression uniaxiale du mortier. A cause de l'adhérence et la friction entre les briques et le mortier, ce dernier est confiné. Il en résulte ainsi, un état de contraintes composé de la compression axiale et de la tension latérale dans la brique et de la compression triaxiale dans le mortier (figure 1.4). C'est à cause de l'état de

compression triaxial que les prismes de maçonnerie peuvent être soumis à des contraintes externes qui dépassent la résistance à la compression du mortier.



**Fig 1.4 Idéalisation de la distribution des contraintes dans les unités de maçonnerie soumises à des contraintes de compression uniformes, d'après Hildsorf (1969) et Atkinson et al (1985)**

#### 1.1.4 Rupture des prismes en compression :

Généralement, les prismes en maçonnerie soumis à la compression uniforme se rompent par le développement de fissures par tension, parallèles à l'axe de chargement: ceci est le résultat du développement de contraintes de tension.

Hildsorf (1969) a observé que le mode de rupture des prismes chargés en compression débutent par des fissures verticales ou fendage des briques. D'autre part, les observations expérimentales de Hegemier (1978) ont montré que pour les prismes formés de deux blocs de béton avec coulis de mortier, le mode de rupture typique est par cisaillement. Par contre, pour les prismes de plus de deux blocs, le mode de rupture le plus fréquent est caractérisé par des fissures longitudinales de tension le long des blocs et du coulis de mortier. Pour sa part, Maurenbrecher (1985) a observé des fissures verticales sur les cotés des murs de briques de 82 % de la charge ultime. Pour les prismes de briques de faible résistance, des fissures locales ont eu lieu à des charges plus faibles. Les murs de briques d'argile commencent à se fissurer à 76% de la charge ultime ; pour les blocs de béton, toutefois, aucune fissure n'a eu lieu avant la rupture.

### 1.1.5 Méthodes de détermination de la résistance à la compression :

#### 1.1.5.1 Méthode empirique :

Une méthode empirique a été développée par Grimm (1975) pour la détermination de la résistance à la compression des assemblages de briques testées selon ASTM E-477. Cette formulation est basée sur l'analyse de plusieurs résultats d'essais effectués précédemment; elle tient compte des principaux paramètres qui peuvent influencer la résistance à la compression de la maçonnerie.

$$f'_m = 2.99 \cdot 10^{-4} \chi \cdot \alpha \cdot f'_b (f'^2_{cm} + 449.26)(1+\epsilon)^{-1} \quad (1.2)$$

où  $f'_m$  : Résistance à la compression des prismes en MPa,  
 $f'_b$  : Résistance à la compression des briques  $\leq 83$  MPa,  
 $f'_m$  : Résistance à la compression du mortier en MPa,  
 $\epsilon$  : facteur de qualité de travail :

-  $\epsilon = 8 \times 10^{-5} (83 - f'_b)$  : pour un travail non contrôlé

-  $\epsilon = 0$  : pour un travail contrôlé

$$\chi = 0.0178 \left\{ 57.3 - \left[ \left( \frac{h}{t} \right) - 6 \right]^2 \right\}, \text{ avec } 2 < \frac{h}{t} < 6$$

$$\alpha = 0.0048 \left\{ 273 - \left[ \left( \frac{t_m}{t_b} \right) - 14 \right]^2 \right\}, \text{ avec } 2.5 < \frac{t_m}{t_b} < 10$$

où h, t : hauteur et épaisseur du prisme

$t_b$  : hauteur de la brique

$t_m$  : épaisseur du joint de mortier

#### 1.1.5.2 Méthode de l'analyse élastique:

Une méthode a été développée par Atkinson (1985) et Mc Nary (1985) basée sur le comportement multiaxial des briques et du mortier comme guide pour la prédiction du comportement des prismes sous charge de compression uniaxiale. Cette théorie a été simplifiée, en considérant que les contraintes sont uniformes le long de l'épaisseur des briques et du mortier. Ce modèle est différent de la théorie de Hilsodrf (1969), car l'effet du

comportement non linéaire du mortier a été inclus, ce qui a été négligé dans plusieurs autres théories.

La formulation proposée a été développée pour des prismes de maçonnerie soumis à des contraintes de compression  $\sigma_y$  (figure 1.5a).

Les contraintes latérales induites dans la brique et dans les lits de mortiers adjacents sont indiquées sur la (figure 1.5b).

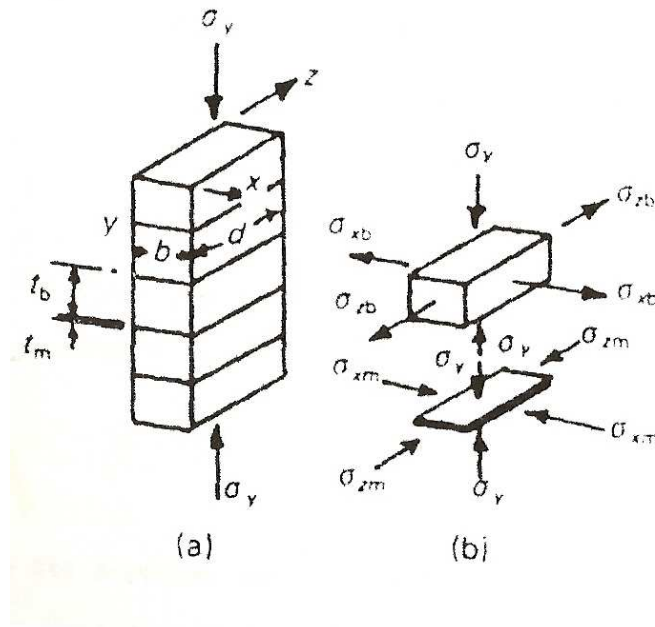


Figure 1.5-(a) Prisme sous charge de compression ; (b) Etat de contraintes dans la brique et le mortier, d'après Atkinson et al (1985).

Les déformations par tension dans la brique dans la direction x et y sont :

$$\varepsilon_{xb} = \left(\frac{1}{E_b}\right) [\Delta\sigma_{xb} + \nu_b(\Delta\sigma_y - \Delta\sigma_{zb})] \quad (1.3)$$

$$\varepsilon_{zb} = \left(\frac{1}{E_b}\right) [\Delta\sigma_{zb} + \nu_b(\Delta\sigma_y - \Delta\sigma_{xb})] \quad (1.4)$$



de même pour les joints de mortier, les déformations sont :

$$\varepsilon_{xm} = \left(\frac{1}{E_m}\right) [\Delta\sigma_{xm} + \nu_m(\Delta\sigma_y - \Delta\sigma_{zm})] \quad (1.5)$$

$$\varepsilon_{zm} = \left(\frac{1}{E_m}\right) [\Delta\sigma_{zm} + \nu_b(\Delta\sigma_y - \Delta\sigma_{xm})] \quad (1.6)$$

où  $E_b$  et  $E_m$  sont les modules d'élasticité dans la brique et le mortier respectivement,  $\nu_b$  et  $\nu_m$  les coefficients de Poisson correspondants.

A l'équilibre, la force de tension latérale dans la brique doit être égale à la force de compression latérale dans le mortier.

$$t_m \Delta\sigma_{xm} = t_b \Delta\sigma_{xb} \quad (1.7)$$

$$t_m \Delta\sigma_{zm} = t_b \Delta\sigma_{zb} \quad (1.8)$$

Il a été supposé, que les déformations latérales dans la brique et le mortier sont égales  $\varepsilon_{xb} = \varepsilon_{xm}$  et  $\varepsilon_{zb} = \varepsilon_{zm}$  et que les contraintes latérales dans la brique et le mortier dans les directions x et z sont égales.

La combinaison des équations, nous donne l'équation générale qui tient compte du comportement non-linéaire du mortier.

$$\Delta\sigma_{xb} = \frac{\Delta\sigma_y \left[ \frac{E_b}{E_m(\sigma_1, \sigma_3)} \nu_m(\sigma_1, \sigma_3) - \nu_b \right]}{\left[ 1 + \frac{E_b}{E_m(\sigma_1, \sigma_3)} \frac{t_b}{t_m} - \nu_b - \frac{E_b}{E_m(\sigma_1, \sigma_3)} \frac{t_b}{t_m} \nu_m(\sigma_1, \sigma_3) \right]} \quad (1.9)$$

Si on suppose que le comportement du mortier est linéaire, et si on pose :

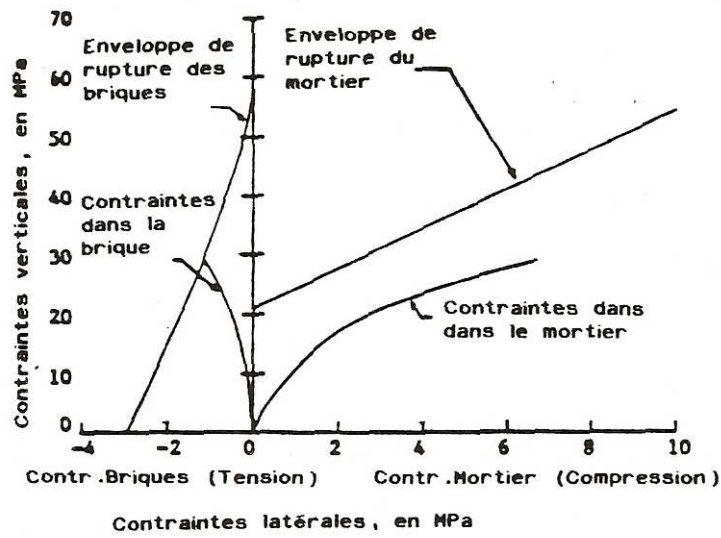
$$\alpha = \frac{t_b}{t_m} \quad \text{et} \quad \beta = \frac{E_b}{E_m}$$

$$\Delta\sigma_{xb} = \Delta\sigma_{zb} = \frac{\Delta\sigma_y [\beta v_m - v_b]}{[1 + \alpha\beta - v_b - \alpha\beta v_m]} \quad (1.10)$$

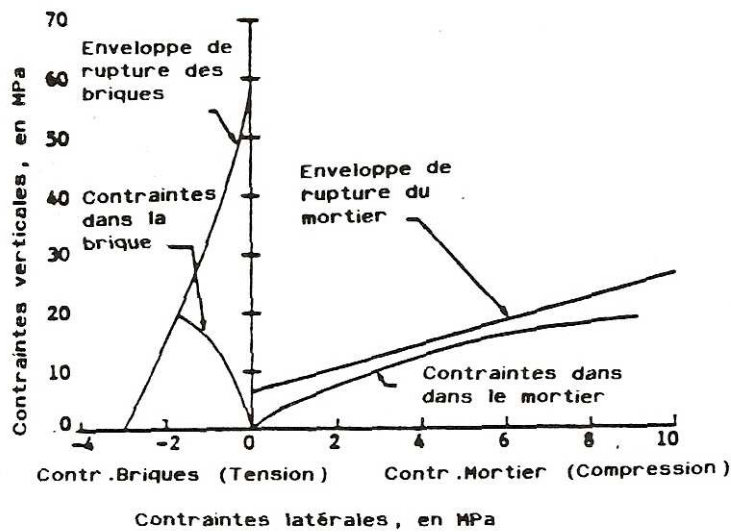
Un modèle a été établi pour vérifier à chaque pas l'état des contraintes dans la brique et dans le mortier en se basant sur le comportement linéaire ou non linéaire du mortier suivant les courbes enveloppes de la brique et du mortier (Figure 1.6).

On a vérifié à l'aide des courbes de contraintes des deux matériaux de ce modèle que le mortier n'intercepte pas la courbe enveloppe même pour le mortier du type O (Figure 1.6 b), ceci implique que la rupture prend naissance dans les briques.

Sachant que la rupture aura lieu à l'instant où la courbe des contraintes de compression versus contraintes de tension intercepte la courbe enveloppe, et connaissant l'allure des courbes enveloppes et des contraintes dans la brique, on peut déterminer la résistance à la compression des prismes de maçonnerie en utilisant la valeur de  $\Delta\sigma_{xb}$ .



a) Mortier type S



b) Mortier type O

Figure 1.6 Contraintes dans les briques et le mortier, d'après Atkinson et al (1985).

### 1.1.5.3 Théorie de la rupture basée sur la résistance des briques et du mortier sous contraintes multiaxiales:

Une approche de la résistance à la compression des assemblages de briques a été proposée par Hilsdorf (1969). Cette approche est basée sur les hypothèses suivantes :

- Existence d'une relation linéaire entre la résistance à la compression et la tension biaxiale latérale,
- Les contraintes de compression locales sont égales à la moyenne des contraintes de compression extrêmes multipliées par un facteur de non uniformité U.

En se référant à la figure 1.7, la ligne A correspond au critère de rupture supposé pour un état de contraintes triaxial de la brique.

Quand la charge externe est appliquée à la maçonnerie, des contraintes de tension internes qui suivent la ligne B1 se développent. Quand cette ligne B1 intercepte la ligne A, enveloppe de critère de rupture, des fissures locales apparaissent dans la maçonnerie, causant ainsi des diminutions dans les contraintes latérales. Quand la charge extérieure est augmentée au-delà de la charge qui a causé la première rupture, des contraintes peuvent se développer dans les sections non fissurées de la brique suivant la ligne B2, d'autres fissures apparaîtront quand la ligne B2 intercepte la ligne A et la ligne C, qui correspond aux contraintes latérales minimales dans la brique. L'intersection correspond à la charge ultime de la maçonnerie.

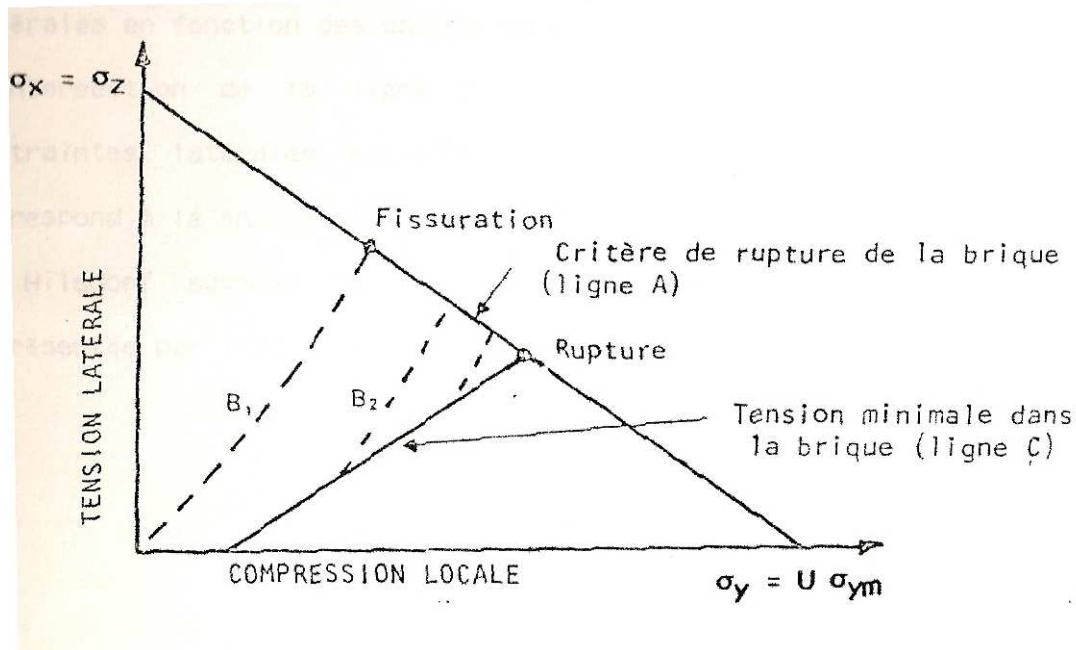
Hilsdorf suppose que la résistance triaxiale du mortier peut-être représentée par l'équation (obtenue originalement pour le béton) :

$$f'_1 = f'_c + 4.1 \sigma_2 \quad (1.11)$$

$f'_1$  : Résistance à la compression d'un cylindre confiné latéralement

$f'_c$  : Résistance à la compression uniaxiale du cylindre confine latéralement

$\sigma_2$  : Contrainte de confinement latéral du cylindre.



**Figure 1.7 Théorie de rupture des prismes de maçonnerie (Hilsdorf 1969).**

Mohd Saleh Jaafar et al (2006) ont étudié la corrélation existante entre la résistance à la compression des prismes, des panneaux de briques et la résistance à la compression des briques. Ils ont trouvé que la résistance la compression des prismes est de l'ordre de 0.47 fois la résistance des unités de briques, alors que la résistance à la compression des panneaux de briques de l'ordre de 0.39 fois la résistance des mêmes unités de briques.

Umit Serdar Camli et al (2006) ont montré que les fibres renforcées de polymères (FRP) ont eu la popularité dans les catégories hautes des éléments structuraux concrets renforcés dans la dernière décennie en raison de leur facilité d'application et de haute résistance par rapport au rapport de son poids. Dans la conception d'une solution de renforcement par les systèmes FRP, la capacité d'ancrage a un rôle important. Cette étude présente les résultats de 57 essais de cisaillement par séparation effectués pour déterminer la force des fibres de carbone renforcées de polymères (CFRP) collés sur les prismes concrets et les tuiles creuses d'argile qui sont enrobées ou de plâtre. Dans le programme expérimental, différents types de méthodes d'ancrage ont été examinés dans les essais de cisaillement par séparation des triplets de briques. Il a été observé que présence d'un film de plâtre agit défavorablement sur la résistance de CFRP a collés sur le béton ou la maçonnerie. En outre, on l'a constaté que la force de CFRP collées sur les tuiles à trous d'argiles sont bien inférieures que les CFRP collés sur le béton.

Sahota M.K et al (2001) ont étudié expérimentalement des structures en béton armé remplies

de remplissages en maçonnerie. Pour réduire les effets de retrait, de fluage des amortisseurs en cuivre ont été placés entre la structure et le remplissage, ces amortisseurs permettent de réduire les efforts de compressions transmises de la structure au remplissage.

Jaafar M.S et al (2006) ont établi des corrélations entre les unités de blocs de maçonnerie, les prismes et les murs soumis à des compressions axiales. Les résultats des corrélations sont les suivants  $f'_{cp}$  (prisme) =  $0.47 f'_{cb}$  (bloc) et  $f'_{cw}$  (panneau) =  $0.83 f'_{cp}$  et  $f'_{cw} = 0.39 f'_{cb}$ .

Hendry A.W (2001) a fait une revue bibliographique sur la construction de mur de maçonnerie. Il a montré qu'elle a subi de changements considérables au cours des dernières décennies avec l'introduction ou l'utilisation prolongée des matériaux légers et de nouveaux types d'unités de maçonnerie. Les objectifs principaux concernent surtout les besoins d'isolation thermique améliorée et de plus grand taux de construction tout en maintenant les avantages de cette forme de construction en termes de flexibilité d'application, de longévité, et d'aspect. Les nouveaux matériaux de remplacement des unités de maçonnerie sont définitivement pris en compte en tenant compte des avantages qu'elles présentent du point de vue légèreté, résistances et économie.

Shrive N.G (2006) a utilisé pour améliorer les caractéristiques des unités de maçonneries par l'ajout de fibres de polymères. Ces unités de maçonnerie ainsi renforcées ont l'avantage de résister à des contraintes plus élevées, mais également la capacité de résister à la propagation de fissures et de maintenir l'intégrité structurale et une résistance plus importante. Des connecteurs particulièrement conçus de FRP, qui ont encore une dureté plus élevée dans l'intégrité de maintien de la structure développée par une meilleure résistance de la maçonnerie.

Bento R and al (2005) ont proposé des modèles de renforcements des structures en maçonneries anciennes basées sur les modes de ruptures les plus probables. Ces modèles de renforcements sont efficaces sans toutefois changer la rigidité des structures et leurs caractéristiques dynamiques.

Des essais sur des maçonneries qui ont subi un séisme ont été élaborés par Corradi M and al (2003) pour évaluer les caractéristiques physiques et mécaniques des maçonneries endommagées par le séisme.

Pour augmenter la résistance au cisaillement des briques, des renforcements par des fibres de polymères ont été étudiés par Valluzzi M.R and al (2002).

L'influence des types de confinement des murs en maçonnerie, et du coefficient de frottement entre les briques et le mortier, ainsi que l'effet des dimensions des panneaux en

maçonnerie ont été étudiés expérimentalement et théoriquement par Moghadam H.A and al (2006).

L'analyse au microscope électronique à balayage a été utilisée pour caractériser le comportement des éléments de maçonnerie, cette méthode a été mise en expérience par Larbi J.A (2004). Elle permet de diagnostiquer rapidement les différentes et natures d'attaques des briques sans autant affecter le remplissage.

Pour la maçonnerie nouvelle et remise en état, les gammes des conditions dans lesquelles les modes de rupture actuellement observés se produisent, doivent être connus : des méthodes analytiques simples doivent être développées à la base de normes spécifiques. Les différents essais pourraient bien déterminer les modes de rupture qui pourraient se produire. Pour finir il y a des issues d'utilité qui ont suscité peu d'attention jusqu'ici mais devrait être étudiés. Le développement de la recherche en matière de matériaux composites à base de végétaux ou d'autres déchets industriels, ouvre plusieurs possibilités d'améliorer les qualités de la maçonnerie nouvelle ou de restauration des constructions soumises aux charges sismiques.

L'amélioration des mortiers par l'ajout des fibres de cactus a été vérifiée par Chandra S et al (1997). Ils ont trouvé que l'ajout de cactus augmente la résistance et la plasticité du mortier, mais diminue l'absorption en eau.

## **2. Les composites à base de Diss**

Le Diss (*Ampelodesmos mauritanicus*, famille des Poacées) est une grande graminée répandue dans l'Afrique-du-Nord méditerranéenne et les régions sèches de la Grèce à l'Espagne. En France, on la trouve dans les départements des Alpes-Maritimes, du Var, de la Corse-du-Sud et de l'Hérault. Cette plante était utilisée auparavant dans la réalisation des habitations anciennes de ces régions en raison de ses qualités mécaniques et hydriques.

Le Diss traité a été cueilli dans la région de Souk-Ahras, et se trouve à l'état sauvage, c'est une plante annuelle (voir figure 1.8).

Le matériau végétal de base, très fibreux, présente une absorption de l'ordre de 90%, qu'il faudra corriger. De plus, nous avons constaté lors des essais avec du diss naturel broyé un retard de prise assez considérable et des résistances très faibles, alors que les fibres présentent des résistances à la tension considérable. Pour améliorer la contribution des fibres dans les composites à base cimentaire, nous avons donc procédé au traitement par ébullition des fibres de diss pour extraire les substances causes de la mauvaise liaison entre les fibres et la pâte de ciment. Nous avons également procédé à des traitements à l'huile de lin, et au bitume pour atténuer le taux d'absorption des fibres.

Pour augmenter l'adhérence entre les fibres de Diss et la pâte de ciment et contrôler l'eau absorbée par les fibres durant l'hydratation du ciment, nous avons également fait un prémouillage des fibres jusqu'à saturation, et ce avant de procéder au malaxage des fibres de diss avec la pâte de ciment.

Les fibres se présentent en tiges de 1 à 2 mètres de hauteur, et sont coupés pour les laisser sécher (voir figure 1.9). Ces fibres sont utilisées comme granulat ont été broyées en fibres (voir figures 1.10 et 1.11) avec un broyeur à couteaux à découpe parallèle de type Retsch, avec une maille de 10 mm.



**Fig 1.8: Plante de diss**



**Fig 1.9 : Tiges de diss (ampelodesma mauritanica)**



**Fig 1.10 Fibres de diss broyées**



**Fig 1.11 Fibres de Diss broyées et bouillies**

## **2.1 Microstructure des matériaux composites à base cimentaire**

Le comportement mécanique des composites à matrice cimentaire dépend fortement de sa microstructure, de la qualité de l'interface matrice granulats et également de la taille, de l'orientation des fibres.



Le comportement mécanique est gouverné par les propriétés de chaque élément constituant le composite, par les interfaces et par les mécanismes de propagation des microfissures dans un milieu fortement hétérogène. Le composite contient des microfissures avant même l'application d'une charge externe. Cet état d'endommagement est dû à plusieurs facteurs tels que la sédimentation, le retrait différentiel entre le granulat et la pâte de ciment, le gradient thermique, l'adhérence entre les différents constituants du composite.

Ces microfissures prennent naissance depuis l'interface liant-agrégat, puis se propagent dans les zones les plus faibles de la microstructure et dans les zones à forte concentration de contraintes. De manière générale, si les agrégats sont poreux, les fissures peuvent les traverser, mais le cas inverse, elles vont les contourner. Ainsi l'interface liant-agrégat peut influencer le comportement global du composite.

Les briques de Diss sont constituées de granulats d'origine végétale et d'une matrice de liant à base de ciment. Le granulat de Diss présente une forte porosité qui le rend très léger et très compressible. Son comportement diffère donc de celui des granulats minéraux classiques rigides. Le mélange de ces deux constituants, l'un compressible et l'autre pas, conduit donc à un matériau assez éloigné des matériaux classiques. Le comportement mécanique est modifié par la présence de granulats déformables dans une matrice de liant rigide. Ce contraste de propriétés génère un mode de rupture différent d'un matériau à base de granulats standards. Enfin, la microstructure du composite à base de Diss varie en fonction de la formulation et entraîne des comportements et des propriétés variables.

Afin de mieux comprendre ce comportement global, une étude bibliographique au niveau des constituants et des différentes formulations est nécessaire.

## **2.2 Fibres**

L'utilisation des fibres comme renfort est une ancienne méthode utilisée pour améliorer le comportement mécanique des matériaux de construction. L'utilisation de certaines fibres a connu des évolutions au cours de l'histoire.

- 1- Les fibres végétales comme la paille ou le bois ont été utilisées par nos ancêtres. De nos jours elles ont encore été utilisées pour la construction d'habitations ou de matériaux comme les éléments de remplissage ou d'isolation.
- 2- Les fibres d'acier datent du début du XX<sup>ème</sup> siècle
- 3- Les fibres organiques datent des années soixante (XX<sup>ème</sup> siècle)
- 4- Les fibres de verre datent des années soixante dix (XX<sup>ème</sup> siècle)

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable. Elles sont réparties dans la matrice d'une façon aléatoire soit de manière unidirectionnelle voire bi ou tri directionnelle.

D'une manière générale, dans un composite à fibres, la matrice permet de transmettre les efforts d'une fibre à une autre. Les fibres ont pour rôle principal de reprendre les efforts et d'augmenter la ductilité du composite. Ainsi l'utilisation des fibres permet d'améliorer le comportement des composites en traction et en compression. D'autre part elles permettent de contrôler la propagation des fissures et de retarder la rupture finale du composite par dissipation de l'énergie excédentaire.

Dans le composite ciment-fibre, deux possibilités de transfert des contraintes de cisaillement à l'interface fibre-matrice sont possibles :

- 1- transfert de mode élastique : les fibres se rompent ou se déforment car elles ne peuvent pas glisser dans la matrice (adhérence parfaite).
- 2- Transfert de mode frictionnel : les fibres peuvent glisser en raison d'une perte d'adhérence entre la fibre et la matrice, ce glissement engendre une contrainte de cisaillement constante au long de la fibre par mécanisme de friction.

Savastano Jr H et al (2000 et 2003) ont utilisé des résidus de sisal, de bananier et d'eucalyptus comme renfort dans des composites cimentaires. Les composites ainsi obtenus présentent des performances mécaniques acceptables. Les travaux de Kriker A et al (2000), basés sur l'utilisation de quatre types de fibres de palmier dattier dans une matrice cimentaire, ont montré que l'augmentation des longueurs et des pourcentages des fibres améliorent la résistance à la flexion et la dureté du composite, mais diminue les résistances à la compression. L'utilisation des fibres de noix de coco, de canne à sucre, et de bananier comme renfort en béton époxyde de polymère a été étudié par Reis (2005), montre que la fibre de noix de coco, contrairement aux deux autres types de fibres, permet d'obtenir une légère augmentation des propriétés à la flexion du composite. Ledhem A et al (2000) ont montré lors de leurs travaux sur composites cimentaires à base de copeaux de bois que le traitement thermique du bois pouvait augmenter les résistances mécaniques, la conductivité thermique, ainsi les variations dimensionnelles extrêmes des composites. Aamar Daya E.H (2004) a utilisé des poussières issues du teillage des fibres de lin comme agrégat dans un composite à matrice cimentaire. Ses travaux ont montré que le traitement à l'eau bouillie des poussières du lin améliore considérablement les résistances mécaniques des composites.

Toutefois la présence d'un végétal au sein d'une matrice cimentaire peut faire appréhender une sensibilité accrue à l'eau : outre des désordres mécaniques, des baisses de performances

mécaniques et surtout thermiques sont également à craindre selon Piementa et al (1994). Le milieu fortement alcalin développé par l'hydratation du ciment provoque en effet des réactions d'hydrolyse et solubilise certains composés comme les sucres, les hémicelluloses et les pectines (Simatupang (1986). Garci Juenger M.C et al (2002) et Bilba K et al (2003) ont étudié l'influence des sucres sur la prise des composites cimentaires et ont montré que le sucre retarde l'hydratation du ciment.

Les effets des granulats légers secs et mouillés sur la structure et la longévité du mortier sont présentés par Amir Elsharief et al (2004), comparé à un mortier global normal, et ont trouvé qu'il y a seulement une petite différence dans la microstructure de la zone d'interface de transition (ITZ) entre les mortiers à agrégats secs et mouillés.

Peschard et al (2004) ont montré que la présence de polysaccharides influence considérablement sur l'hydratation du ciment, et le retard d'hydratation dépend du type de ciment.

La présence de substances hydrosolubles dans la partie lignocellulosique affecte la réaction d'hydratation du ciment, et provoque un retard de la prise et du durcissement du composite. L'ébullition des fibres de Diss annule complètement la présence de sucres hydrosolubles et offre au composite une hydratation et un durcissement comparable à un mortier ordinaire.

Les traitements chimiques de surface des différentes fibres de bois élaborés par Blankenhorn P.R et al (2001) augmente bien les caractéristiques mécaniques des composites, comparés aux composites à base de fibres à base de fibres non traitées.

L'utilisation de certains déchets lignocellulosiques peut avoir un effet négatif sur la résistance à la compression. Demibras A et al (1998) ont montré expérimentalement que certains déchets comme les coques des noisettes, les déchets de hêtre et de sapin peuvent être utilisés partiellement avec du ciment Portland, mais les déchets de thé ne sont pas du tout admis.

Les résidus agricoles offrent une grande possibilité de remplacement des composites à base en bois dans la construction, mais leurs effets d'inhibition sur l'hydratation du ciment sont le seul obstacle. Des traitements chimiques ont été adoptés par Soroushian P et al (2004) pour accélérer le processus d'hydratation par l'ajout de 2% Silicates de sodium de la masse de ciment, et également 10% de chaux par masse de ciment pour accélérer davantage les réactions avec le dioxyde de carbone.

L'utilisation des fibres de verres et de polypropylène comme renforcement du béton a fait l'objet d'étude expérimentale et théorique élaborée par Choi Y et Yuan R.L (2004), ils ont déduit que la résistance à la tension du béton peut être augmentée de 20 à 50 %, et qu'une relation théorique simple a été établie pour connaître le comportement des bétons renforcés

par de telles fibres. Les composites à base de mélanges de fibres de bois et de polyoléfine réutilisés ont été étudiés par Selke S.E (2004) et Stancato A.C et al (2005) sous différentes formes et proportions. Les résultats obtenus sont satisfaisants et offrent des matériaux intéressants à base de produits de recyclage. Le comportement des composites à base de bois et polymères a été traité par Yildiz et al, ils ont trouvé que les végétaux traités chimiquement ont pu donner des résistances plus intéressantes que les composites à base de végétaux non traités.

Les essais non destructifs permettant de déterminer le module d'élasticité dynamique ont été comparés par Teixeira D.E (2001) à des essais statiques sur des composites à base de fibres de bois, les résultats sont encourageants, et une bonne corrélation a été obtenue entre la mesure des propriétés mécaniques statiques et dynamiques, mais pour des petits rapports de dimensions des éprouvettes.

Lo et al (1999) ont montré que le temps prémouillage des agrégats absorbants augmente la résistance et la maniabilité du composite de matériaux d'agrégats légers à matrice cimentaire. L'historique de l'utilisation des fibres végétales sous différentes formes et traitements, comme renforcement des matériaux de construction composites à matrice cimentaire a été revu par Coutts R.S.P (2005).

Les variations dimensionnelles d'un matériau doivent être étudiées avec soin car elles peuvent entraîner des pathologies dans la construction. On distingue en général deux types de variations dimensionnelles. Celles qui ont lieu lors de l'hydratation du ciment et sont irréversibles. Leurs conséquences peuvent être limitées par le respect d'une période de stockage après fabrication. Les variations dimensionnelles, qui accompagnent les variations climatiques, sont par contre réversibles. Pour rendre compte de ces variations dimensionnelles, on détermine les variations entre états conventionnels extrêmes : état sec et état humide par immersion dans l'eau. La stabilité d'un matériau est une caractéristique importante pour la durabilité des ouvrages. Outre une faible réactivité chimique avec l'environnement, il est nécessaire d'atteindre également une bonne stabilité physique, c'est-à-dire, des variations dimensionnelles faibles avec les variations de températures et d'humidité. Les normes relatives aux bétons de granulats légers ou cellulaires auxquelles il est possible de se référer, limitent ces variations dimensionnelles entre états extrêmes à 0.45 mm/m. Cependant, les mesures effectuées sur les bétons de bois conduisent à des valeurs beaucoup plus grandes, de l'ordre de 5 à 10 mm/m. Un certain nombre d'études ont été menées pour élucider les causes de ces variations dimensionnelles. Elles concernent l'influence des

constituants du composite : taille des granulats de bois, nature du ciment, dosage en ciment et divers produits d'ajouts. D'autres travaux ont mis en évidence des variations dimensionnelles réversibles liées au rapport eau/ciment, à la fabrication. En raison de leur capacité d'échanges hydriques, les granulats de bois pourraient également jouer un rôle dans l'augmentation de la porosité. La stabilité peut être améliorée par des traitements physiques ou chimiques qui peuvent être appliqués aux granulats végétaux, à la matrice cimentaire ou au composite. Elle peut également être améliorée par une modification du procédé de fabrication.

Les études ont porté essentiellement sur le traitement de la fraction végétale, avec deux objectifs : éviter le relargage de substances nocives pour l'hydratation du ciment et diminuer les échanges d'eau responsables de variations dimensionnelles.

Piementa et al (1994) a fait une synthèse des traitements effectués. Les traitements physiques d'imprégnation et d'enrobage superficiel sont des traitements d'interface qui ont pour but principal de limiter les échanges d'eau avec la matrice. Les traitements thermiques ont pour objectif de modifier la structure chimique et notamment de dégrader les hémicelluloses. Les traitements chimiques ont pour but de neutraliser les groupements hydroxyles responsables du caractère hygroscopique du bois en les remplaçant par des groupements plus hydrophobes ou en les bloquant.

L'étude de la littérature concernant les fibres de Diss semble prouver un manque de valorisation technologique, notamment dans le domaine des composites cimentaires. Or, cette espèce végétale existe à l'état sauvage en quantité importante sur le pourtour méditerranéen et sa nature fibreuse est susceptible d'offrir aux matériaux cimentaires les qualités apportées par les fibres classiques. Cependant, des études faites par Vilà et al (2001) ont montré une grande accumulation d'essences dans la matière végétale. Ces essences sont susceptibles d'interagir avec la pâte cimentaire. C'est pourquoi des traitements doivent être effectués.

Afin de réduire l'absorption en eau par ce végétal, qui est de l'ordre de 90%, et le retard de prise observé lors des essais mécaniques réalisés sur des composites à base de Diss naturel broyé, nous avons procédé à différents traitements des fibres : traitement par ébullition (extraction des substances solubles), traitements avec l'huile de lin ou du bitume (diminution du taux d'absorption).

### **2.3 Le milieu poreux**

Un matériau poreux est un cas particulier dans la catégorie plus générale des matériaux composites. Il se particularise par le fait qu'il a au moins deux phases distinctes : la phase solide (matrice) et une phase formée de cavités (pores). Ces dernières sont caractérisées par

trois paramètres essentiels : leur taille (rayon, longueur, distance inter-parois), la nature de la surface de leur paroi (lisse, rugueuse), leur connectivité.

Les propriétés d'un solide poreux dépendent essentiellement de la géométrie et de la taille des pores ainsi que de leur distribution. Traditionnellement, on distingue trois types de pores :

- les macropores dont la largeur est supérieure à 50 nm ;
- les mésopores dont la largeur est comprise entre 2 et 50 nm ;
- les micropores dont la largeur est inférieure à 2 nm ;

On peut distinguer deux catégories de micropores en considérant le rapport de leur ouverture « w » au diamètre « d » d'une molécule sonde (la molécule d'azote, par exemple) prise comme référence. Lorsque ce rapport w/d est inférieur à 3.0, on parle d'ultra-micropores. Lorsque ce rapport est égal ou supérieur à 3.0, on parle de super-micropores.

Il est courant de supposer que les pores sont assimilables à des cylindres et de définir un rayon moyen  $r_p$  tel que :

$$r_p = \frac{2 V_p}{A_p} \quad (1.12)$$

Avec

$V_p$  est le volume poreux accessible au fluide

$A_p$  est la surface latérale des pores considérés.

Un matériau poreux est caractérisé par sa porosité, notée  $\epsilon$ , qui est définie par le rapport du volume poreux total  $V_{pt}$  au volume total apparemment occupé par le volume  $V_{pt} + V_s$  (où  $V_s$  est le volume qui serait occupé par la matière si elle était dense, c'est à dire non poreuse).

$$\epsilon = \frac{V_{pt}}{V_{pt} + V_s} \quad (1.13)$$

La porosité totale peut s'exprimer en fonction de la masse volumique apparente et absolue

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \quad (1.14)$$

On peut subdiviser cette porosité totale en porosité ouverte ou fermée

**La porosité fermée** regroupe toutes les cavités fermées non accessibles aux fluides. Elle est à prendre en compte pour les phénomènes mécaniques et thermiques. Elle n'intervient pas dans les phénomènes de diffusion ou d'écoulement des molécules d'eau dans le matériau.

**La porosité ouverte** est définie comme étant le rapport entre le volume des pores considérés accessibles aux molécules d'eau  $V_p$  et le volume total  $V_t$ .

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_t} \quad (1.15)$$

**La porosité spécifique**  $S_a$  est une surface qui est délimitée l'espace des pores par unité de volume ( $m^3/m^2$ ) du milieu poreux. Elle se définit comme le rapport de l'aire de la surface totale des interfaces solide-pores  $A_{sf}$  au volume de l'échantillon  $V$ .

#### 2.4 Compatibilité des granulats avec la matrice cimentaire

L'hydratation des composés du ciment est une réaction exothermique et provoque une importante élévation de température. Les différents ajouts minéraux peuvent affecter la cinétique d'hydratation en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leurs éléments. Cet état est généralement caractérisé par un retard dans la prise et le durcissement qui conditionne les propriétés mécaniques du matériau. En effet, le développement des résistances du liant est déterminé par un ensemble complexe de phénomènes faisant intervenir la solubilité, la sursaturation, la formation et la croissance de germes cristallins, la croissance importante de la surface spécifique des hydrates, l'établissement de contacts mécaniques ou de liaison chimique dans le réseau de cristaux. Il est donc nécessaire d'évaluer la nature des ajouts (granulats) dans la matrice par leur effet inhibiteur sur celle-ci, de façon à ne pas provoquer de blocage dans la réaction d'hydratation et éviter de longues périodes de cure pour le durcissement. C'est le cas de certains composites bois-ciment, pour lesquels les difficultés rencontrées concernant la prise, ont conduit à sélectionner certaines essences reconnues inactives sur l'hydratation et le développement de résistances. La compatibilité chimique des granulats avec le ciment a été examinée par suivi de la température d'hydratation ainsi que du temps requis pour atteindre la température maximale en conditions adiabatiques, par comparaison au cas d'une pâte pure. Pour quantifier cet effet inhibiteur qui conditionne les propriétés mécaniques du matériau durci, A. A. Moslemi et al (1984) a proposé d'évaluer l'indice d'inhibition, selon l'expression (1.16).

$$I = 100 \cdot \left( \frac{t' - t}{t} \right) \left( \frac{T - T'}{T} \right) \left( \frac{a - a'}{a} \right) \quad (1.16)$$

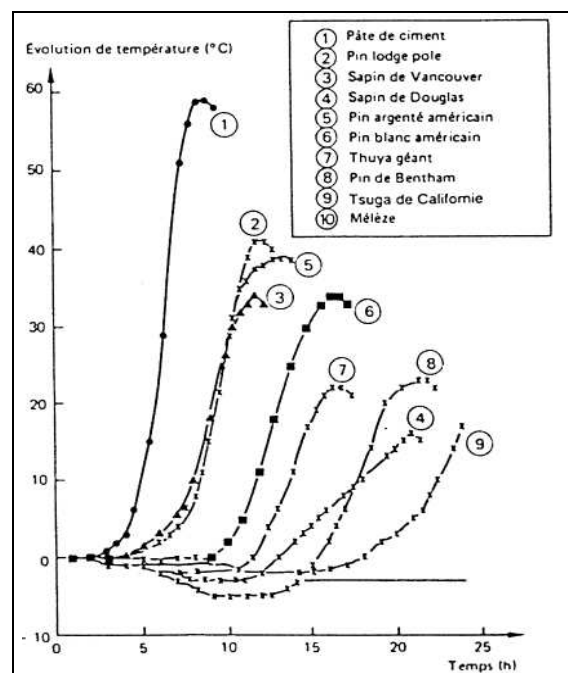
avec :

$T, T'$  : températures maximales à l'hydratation respectivement de la pâte de ciment et du composite ;

$t, t'$  : temps correspondants ;

$a, a'$  : pentes maximales des courbes température/temps respectivement de la pâte de ciment et du composite.

Un exemple d'évolution de la température en fonction du temps, lors de l'hydratation de la pâte de ciment contenant différents types de granulats de bois, est donnée par la figure 1.12.



**Fig. 1.12:** Effet d'un certain nombre de bois sur l'hydratation d'un ciment Portland, d'après Moslemi A.A (1984)

## 2.5 Propriétés thermiques

La conductibilité thermique  $\lambda$  est le flux de chaleur par mètre carré traversant un matériau d'un mètre d'épaisseur pour une différence de température d'un degré entre ses deux faces. Cette propagation d'énergie se produit dans un solide par agitation des molécules



constitutives du matériau. La conductibilité thermique  $\lambda$  est donc une grandeur intrinsèque du matériau, qui dépend de ses constituants et de sa microstructure.

Un béton usuel à base de granulats rigides, contient de l'air, dû à l'arrangement de la phase solide (squelette granulaire) et à la prise du liant. Or l'air immobile conduit faiblement la chaleur. Les bétons à granulats légers permettent d'augmenter la proportion volumique d'air dans le matériau (la porosité), en y ajoutant l'air intra-particule (c.à.d. du granulat). A titre comparatif, un béton hydraulique ( $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$ ) a une conductibilité thermique de  $2.0 \text{ W/(m.K)}$ , tandis qu'un béton d'argile expansé ( $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$ ) a une conductibilité thermique de  $0.6 \text{ W/(m.K)}$ .

Cependant, cette relation entre porosité et faible conductibilité thermique doit être nuancée en tenant compte d'un autre mode de transfert de la chaleur, la convection. Cette dernière traduit les transferts de chaleur entre un solide immobile et un fluide en mouvement. Lorsque le matériau contient un important réseau de pores connectés, l'air peut s'y déplacer et les transferts de chaleur par convection peuvent devenir significatifs. En revanche, un matériau contenant un grand nombre de pores occlus comme le béton cellulaire ( $\phi = 80\%$ ) ne présente pas de convection. Plus de la moitié de l'air est immobile dans les pores occlus et la conductibilité thermique est faible.

Un autre élément permettant de caractériser les propriétés thermiques des matériaux est la chaleur massique ou chaleur spécifique  $C$  en ( $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ). Cette grandeur caractérise la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de masse de  $1^\circ\text{C}$ . Plus la chaleur massique sera élevée, plus le matériau aura besoin d'énergie pour que sa température augmente. Il sera donc moins sensible aux variations de température du milieu extérieur. Un coefficient  $C$  élevé traduit une forte énergie thermique, donc une tendance du matériau à peu évoluer lorsque les conditions extérieures changent. Il sert ainsi de régulateur de la température à l'intérieur de la structure.

Enfin, à partir de la conductivité thermique  $\lambda$  et de la chaleur massique  $C$ , on définit la diffusivité  $\alpha$  ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ ). Cette grandeur caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage par conduction dans un corps. Plus la valeur de  $\alpha$  est faible, plus la chaleur met du temps à traverser le matériau.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C} \quad (1.17)$$

Ainsi, le pouvoir isolant du matériau dépend non seulement de la valeur de  $\lambda$  également de la vitesse de transfert thermique traduite par  $a$ .

Un dernier élément concernant les propriétés thermiques des bétons légers est lié au pouvoir absorbant de ces matériaux, qui peuvent contenir des quantités d'eau non négligeables. L'eau est excellent conducteur, elle induit une augmentation de la conductivité thermique du béton, en se substituant à l'air isolant. Divers travaux ont permis de corréler la conductivité thermique  $\lambda$  et la teneur en eau massique  $\omega$  des bétons légers par des formules empiriques.

Des mesures expérimentales sur des bétons de bois ont montré que la conductivité thermique augmentait de 40 à 90 % pour des teneurs en eau de 30%.

## **CHAPITRE II**

### **Matériaux et Techniques Expérimentales concernant la maçonnerie**

**2.1 Matériaux :**

**2.1.1 Unités de maçonnerie d'Amérique du Nord:**

Le choix des unités de maçonnerie utilisées est basé sur leur résistance à la compression de façon à couvrir une certaine gamme de briques.

Les briques sont classées de la plus faible à la plus résistante de la façon suivante :

- briques de béton : Faible résistance à la compression et coefficient d'absorption moyen.
- briques de chaux et sable : Résistance à la compression moyenne et coefficient d'absorption assez élevé.
- briques d'argile : Résistance à la compression élevée et coefficient d'absorption faible.

| Type de briques | Spécifications | Dimensions | Aire brute (mm <sup>2</sup> ) | Aire nette (mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|----------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Béton           | pleine         | 58x90x190  | 17100                         | 17100                         |
| Chaux et Sable  | pleine         | 58x95x202  | 19190                         | 19190                         |
| Argile          | 10 Trous       | 58x95x202  | 19190                         | 15390                         |

**Tableau 2.1 caractéristiques des unités de briques de l'Amérique du Nord**

**2.1.2 Unités de maçonnerie de la région de Annaba:**

| Type de briques | Spécifications   | Dimensions réelles (mm) | Aire nette (mm <sup>2</sup> ) | Aire brute (mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Argile BBS      | 8 trous latéraux | 190x100x300             | 30 000                        | 30 000                        |
| Argile BBZ      | 8 trous latéraux | 200x100x300             | 30 000                        | 30 000                        |
| Argile BBB      | 8 trous latéraux | 195x100x300             | 30 000                        | 30 000                        |

**Tableau 2.2 Caractéristiques géométrique des briques de la région de Annaba**

## 2.2 Techniques expérimentales:

### 2.2.1 Techniques expérimentales pour essais de compression des prismes des briques de l'Amérique du Nord:

#### 2.2.1.1 Instrumentation :

Pour évaluer le module d'élasticité de prismes de briques, on a placé deux capteurs de déplacements électroniques type DCDT de part et d'autre de l'épaisseur du prisme pour enregistrer les déformations longitudinales au cours du chargement. Ces DCDT sont fixés à des serres solidement liées au prisme et sont reliés à un système d'acquisition de données qui est branché à un micro-ordinateur. La prise de lectures des contraintes de compression et des déformations se fait de façon automatique.

#### 2.2.1.2 Procédure de l'essai :

Le prisme muni de systèmes de mesure est placé sous la presse de type AMSLER. Un essai préliminaire a été prévu pour chaque type de matériau pour déterminer la charge de rupture, qui nous permettra le choix du pas de chargement de façon à avoir un minimum de dix lectures des contraintes de compression et des déformations correspondantes. La charge est appliquée sur le prisme progressivement jusqu'à la rupture.

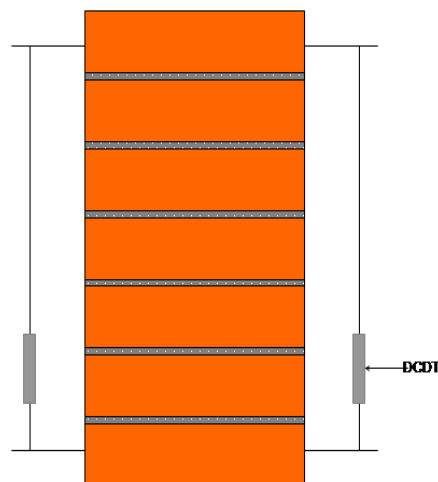


Figure 2.1 Montage pour essais de compression et module d'élasticité

### 2.2.2 Techniques expérimentales pour essais de compression des panneaux des briques de la région de Annaba:

Pour évaluer le module d'élasticité des panneaux de briques, on a placé des jauges en plusieurs endroits dans le sens longitudinal et transversal du panneau, les jauges sont reliées à un pont Wheatstone, qui est relié à un système d'acquisition digital, qui nous donne les déformations à chaque pas de chargement. Les panneaux sont placés sur la dalle d'essai muni d'un vérin de chargement conçu pour des panneaux de telles dimensions et la charge est uniformément répartie à l'aide d'une plaque rigide de néoprène.

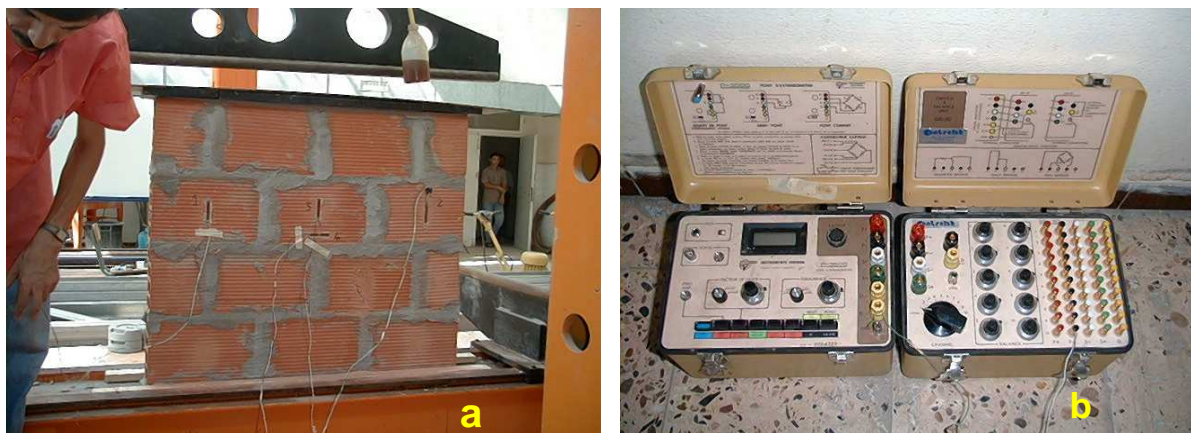


Figure 2.2 a) Montage d'un panneau en compression axiale, b) appareils de mesure des déformations

### 2.3 Techniques expérimentales pour essais d'absorption des briques de l'Amérique du Nord:

Les essais d'absorption consistent à peser des moitiés de briques après séchage de plus de 24 heures au four. Par suite, les échantillons sont immergés dans l'eau à la température de 20°C. Après 24 heures les échantillons sont retirés de l'eau pour être pesés de nouveau.

Le taux d'absorption de l'eau de chaque éprouvette est calculé comme étant le poids d'eau absorbé en 24 heures ( $W_2 - W_1$ ) divisé par le poids sec ( $W_1$ ).

### 2.4 Techniques expérimentales pour essais d'absorption des briques de la région de Annaba:

Ces essais ont été également élaborés pour les trois types de briques de la région de Annaba, en prenant des morceaux d'échantillons, de façon de considérer les absorptions sous différentes sections.

Les méthodes des essais de ces types de briques sont montrées sur la figure 2.3

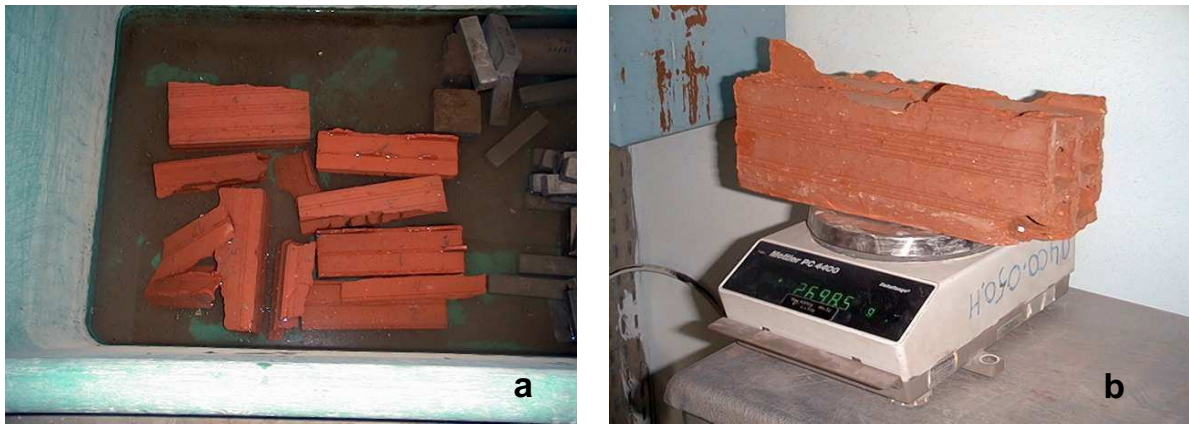


Figure 2.3 a) Immersion des briques dans l'eau, b) Pesées des échantillons

## **CHAPITRE III**

### **Résultats Expérimentaux et Interprétation des résultats concernant la maçonnerie et ses constituants**



### 3. Résultats et interprétations :

#### 3.1 Résultats expérimentaux :

Les essais sur briques de l'Amérique du Nord ont donné les caractéristiques intrinsèques suivantes :

| Type de briques | Résistance à la compression des unités de briques (MPa) | Taux d'absorption d'eau (%) | Résistance adhésion brique-mortier (MPa) |
|-----------------|---|-----------------------------|--|
| Béton           | <b>30.12</b>  | <b>6.78</b>                 | <b>0.41</b>                              |
| Chaux           | <b>41.36</b>  | <b>13.75</b>                | <b>0.12</b>                              |
| Argile          | <b>117.18</b>   | <b>3.30</b>                 | <b>0.34</b>                              |

**Tableau 3.1** Caractéristiques mécaniques et hydriques des briques de la région de Amérique du Nord (Merzoud 1987)

Les moyennes des résultats des essais de compression et de module d'élasticité des prismes de briques de la région sont données au tableau

| Type de briques | Résistance à la compression des unités de briques (MPa) | Taux d'absorption d'eau (%) |
|-----------------|---|-----------------------------|
| Argile BBS      | <b>1.04</b>   | <b>11.00</b>                |
| Argile BBZ      | <b>0.87</b>   | <b>12.85</b>                |
| Argile BBB      | <b>1.18</b>   | <b>7.01</b>                 |

**Tableau 3.2** Caractéristiques mécaniques et hydriques des briques de la région de Annaba (Grine 2002)

| Type de briques | Résistance à la compression (MPa) | Module d'élasticité (MPa) |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Béton           | <b>10.88</b>                      | <b>7215</b>               |
| Chaux           | <b>21.39</b>                      | <b>6530</b>               |
| Argile          | <b>22.99</b>                      | <b>11780</b>              |

**Tableau 3.3** Résistance à la compression et module d'élasticité des prismes de la région de l'Amérique du Nord (Merzoud 1987)

| Type de briques | Résistance à la compression (MPa) | Module d'élasticité (MPa) |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Argile BBS      | <b>0.65</b>                       | <b>2287</b>               |
| Argile BBZ      | <b>0.68</b>                       | <b>3525</b>               |
| Argile BBB      | <b>0.86</b>                       | <b>1927</b>               |

Tableau 3.4 Résistance à la compression et module d'élasticité des prismes de la région d'Annaba (Grine 2002)

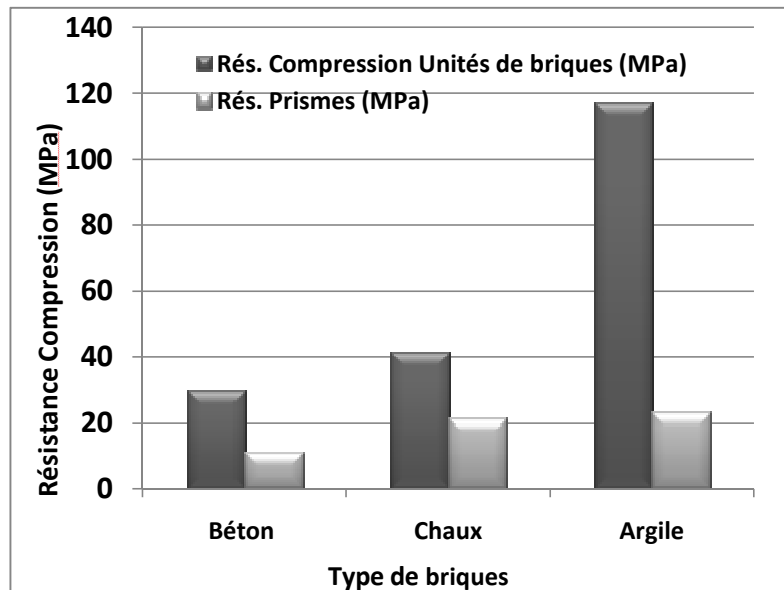


Figure 3.1 Résistance à la compression des prismes versus Résistance des unités de maçonnerie des briques de l'Amérique du Nord

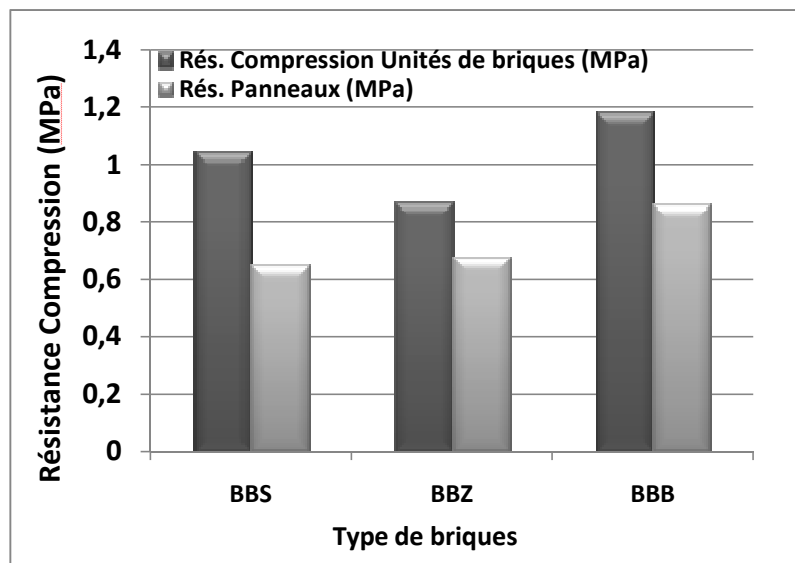


Figure 3.2 Résistance à la compression des prismes versus Résistance des unités de maçonnerie des briques de la région d'Annaba

### 3.2 Mode de rupture :

Les modes de rupture des prismes de maçonnerie de la région de l'Amérique du Nord, qui sont considérées comme briques porteuses, s'est généralement manifestée par des fissures le verticales long des briques et des joints de mortier pour le prismes de briques de béton et d'argile à forte adhésion et pour leur rugosité des surfaces et aussi pour leur faible taux d'absorption. Par contre pour le briques de chaux et sable qui ont des surfaces lisses, et une faible contrainte d'adhésion, et un fort taux d'absorption, la rupture des prismes était brutale, et s'est manifestée par effondrement brutal, et à la rupture l'adhésion entre les briques était quasiment nulle.

Pour les briques de la région d'Annaba, les ruptures ont été initiées au niveau de la rangée supérieure des briques, et ce pour leur faible résistance, et les charges de compression n'ont pu être acheminées aux briques du milieu. Ceci montre que les murs en maçonnerie des briques de faibles résistances sont utilisés comme remplissage, et non aucun rôle de résistance. Les briques du milieu sont restées intactes, alors que la rupture des briques extrêmes supérieures était totale. On parle ainsi de rupture prématurée par compression locale au niveau des briques supérieures de chargement. L'effort n'a pas pu être transmis aux briques du milieu ni à celles de l'extrémité inférieure.

### 3.3 Interprétations des résultats :

Pour le cas de briques de la région d'Amérique du Nord, et pour un mortier de résistance donnée, la résistance à la compression des prismes augmente en fonction de la résistance à la compression de la maçonnerie. Cette augmentation n'est toutefois pas proportionnelle puisque les briques ont des caractéristiques physiques différentes. La résistance à la compression des prismes de maçonneries dépend de la nature des briques, de leur coefficient d'absorption et de l'adhésion entre les briques et le mortier.

Sahlin S (1971) a défini un « facteur d'efficacité » qui est le pourcentage du rapport de la résistance à la compression des prismes sur la résistance à la compression des unités de maçonnerie. Il a observé à partir de divers essais déjà faits, que ce facteur d'efficacité est de l'ordre 10 à 40% pour les briques d'argile, et peut atteindre 50% pour les briques de chaux et sable et de 50 à 80% pour les briques de béton.

Dans le cas de briques de la région de Amérique du Nord, les facteurs d'efficacité étaient assez comparables à ceux mentionnés par Sahlin, et sont de l'ordre de 36% pour les briques de béton, de 52% pour les briques de chaux et sable, et de 19.62% pour les briques d'argile

(voir figure 3.1). Pour les briques de la région d'Annaba, les facteurs d'efficacité varient entre 62.5, 78.2 et 72.9 pour BBS, BBZ et BBB respectivement (voir figure 3.2).

En observant les résultats des facteurs d'efficacité, et en sachant que la rupture des prismes de briques d'argile a eu lieu par le développement de fissures de tension parallèles à l'axe de chargement, il est assez évident que la facteur d'efficacité des prismes de briques d'argile soit le plus faible, parce que l'aire qui devrait reprendre la tension latérale est trop faible à l'endroit des trous, où la rupture a eu lieu.

Dans le cas de briques pleines de chaux et sable et de béton, on remarque que le coefficient d'efficacité est plus faible dans le cas de briques de béton, ceci est certainement lié à la résistance à la tension latérale de deux types de briques, qui paraît être plus faible dans le cas de briques de béton. Ceci s'explique par le fait que même pour un coefficient d'efficacité de l'ordre de 50%, la rupture des prismes de briques de chaux et sable a débuté par effritement du mortier avant d'atteindre les briques; par contre la rupture des prismes de briques de béton a lieu par apparition de fissures longitudinales à travers les briques, parallèles à l'axe de chargement.

Pour les briques de la région de Annaba, les facteurs d'efficacité sont très importants, du fait que la rupture aura lieu par perte de résistance des briques, et l'excédent de charge ne pourra pas être transmis aux briques des rangées inférieures pour le transmettre à tout le panneau.

### **3.4 Conclusions :**

Les résistances au cisaillement peuvent être évaluées en fonction de la résistance à la compression, à condition que les contraintes de compression soient au plus égales à 2.0 MPa. Pour le cas de briques de l'Amérique du Nord, la résistance au cisaillement ne dépend de la résistance à la compression des unités de maçonnerie, mais surtout liée à l'adhésion entre les briques et le mortier, et à la rugosité des surfaces des briques.

Pour le cas des briques de la région d'Annaba, la résistance au cisaillement ne sera pas intéressante, vu que la rupture par compression peut être considérée comme prématurée. Ceci s'explique que les panneaux ou prismes de ces briques ne supportent pas des charges de compression intéressantes, ce qui implique que de telles briques ne peuvent pas supporter des efforts sismiques importants, étant donné que les charges de rupture de compression des panneaux de briques ne dépassent pas 0.86 MPa.

A partir des résultats obtenus, les murs de briques de faibles résistances ne peuvent en aucun cas être utilisés pour reprendre ni des efforts verticaux, ni surtout horizontaux, et leur présence dans les structures soumises aux actions sismiques sont plus néfastes que

avantageuses. Par contre les murs de briques de maçonnerie résistantes peuvent contribuer efficacement à reprendre les efforts horizontaux jusqu'à la limite de leur résistance à la compression.

On peut conclure que plus le coefficient d'efficacité est faible, plus la contribution de la maçonnerie est importante, et le prisme ou mur résiste mieux aux efforts qui lui sont appliqués. Alors inversement quand le coefficient d'efficacité est important, veut dire que la résistance des prismes ou panneaux est proche de la résistance des unités de briques, ce qui montre que les briques se rompent avant de transmettre les efforts aux restes des briques liées évidemment par du mortier.

[Tapez un texte]

## **CHAPITRE IV**

### **Matériaux et Techniques Expérimentales concernant les composites**

## 4. MATERIAUX

### 4.1 CHOIX DU MATERIAU DE BASE:

Le matériau de base utilisé dans notre recherche est le « diss », connu sous le nom scientifique « *ampelodesma mauritanica* », appelé en Italie « DISA » et en Espagne « CARRITX », il appartient à la famille des « Graminées ». C'est une plante très répandue en méditerranée, elle est très résistante à la traction de l'ordre de 100 MPa, son utilisation est limitée à la confection des couffins, à lier les branches de vignes ou à la confection des balais cantonniers. C'est un matériau très fibreux. Le Diss utilisé dans notre recherche a été cueilli de la région de Souk-Ahras, à la frontière Algéro-Tunisienne. C'est une plante sauvage qui est très répandue sur toute la côte algérienne, et jusqu'à plus de 100 km à l'intérieur du pays.

Comme tous les autres matériaux végétaux utilisés comme composites dans une matrice cimentaire, le diss présente les inconvénients majeurs suivants:

- Taux d'absorption élevé, ce qui ne permet pas au ciment de s'hydrater normalement, ce qui affecte la résistance caractéristique du composite, et aussi une mauvaise adhérence des fibres végétales à la pâte de ciment.

- Un retard de prise dû à certains composés organiques présents dans les fibres végétales.

- Des éventuelles variations dimensionnelles qui peuvent dépasser les valeurs admissibles par les normes en vigueur.

Pour pallier à ces imperfections et incompatibilités entre les matériaux de différentes natures entrant dans la fabrication du composite à base de fibres végétales à matrice cimentaire, différents traitements ont été appliqués aux fibres de diss.

Le choix d'un ou plusieurs meilleurs traitements par rapport à d'autres sera fait sur la base des critères suivants:

- Fonction potentielle
- Essais de résistance (flexion et compression)
- Variations dimensionnelles, qui doivent rester inférieures aux valeurs admissibles
- Comportements mécaniques comme éléments simples ou dans des assemblages
- Conductibilité thermique
- Porosité du matériau fini (domaine capillaire)
- Masse volumique
- Economie d'ensemble pour un matériau donné

- Respect des exigences écologiques
- Durabilité du composite

#### **4.2 TRAITEMENTS UTILISES:**

A travers les différentes références bibliographiques utilisées, relatives aux composites à base de fibres végétales à matrice cimentaire, nous avons opté pour les traitements courants suivants:

##### **4.2.1 Traitement thermique:**

Ce traitement a été effectué par la mise en ébullition du diss broyé dans une cocotte pendant quatre heures, puis égoutté et rincé à grande eau afin d'enlever les substances organiques, causes du retard de prise constaté lors des essais préliminaires réalisés auparavant, et où on a pu également constater un dégagement d'une forte odeur lors du malaxage des fibres végétales broyées, mais non traitées avec la pâte de ciment.

A travers ce traitement, des études systématiques sont à prévoir, pour mettre en évidence l'efficacité du traitement.

- Etude chimique comparative pour mettre en valeur les constituants organiques dans le diss traité et le diss non traité.
- Observations au microscope électronique des fibres de diss traité et non traité.
- Caractérisation de ces deux matériaux (absorption, adsorption, masse volumique apparente et absolue, etc...).
- Détermination du temps de prise pour les deux composites, une fois la formulation fixée.
- L'efficacité du traitement pourrait être mise en évidence par l'élaboration d'une pâte de ciment avec l'eau récupérée de l'ébullition comparée à une pâte de ciment avec l'eau courante (essais de prise, résistances mécaniques).

##### **4.2.2 Traitement chimique:**

Le traitement consiste à immerger le diss préalablement bouilli est séché pendant cinq minutes dans une solution à 5% de Silicates de Sodium et pendant cinq autres minutes dans une concentration à 30% de Sulfates d'Aluminium. Le produit obtenu est placé dans l'étuve à 50°C jusqu'à obtention d'une masse constante.



### 4.2.3 Traitements physiques:

#### a) Traitement au bitume:

Le traitement consiste à enrober les fibres de diss bouillies et séchées par du bitume chauffé au préalable. L'ensemble est remué manuellement sur une plaque chauffante, les fibres de diss sont rajoutées progressivement jusqu'à séparation de toutes les fibres enrobées individuellement.

Le produit obtenu est dispersé sur une plaque métallique à l'air ambiant jusqu'à refroidissement, et mis ensuite dans le réfrigérateur.

Le rapport pondéral du Diss/ Bitume varie entre 0.45 et 0.55.

#### b) Traitement à l'huile de lin:

Le traitement est obtenu par malaxage du diss bouilli et séché avec l'huile de lin. L'ensemble est placé à l'étuve à 50°C pour s'assurer que toutes les fibres soient bien recouvertes, et rajouter des fibres dans le cas où il y a un excédent d'huile au fond de la barquette. Les proportions sont définies après être rassuré que l'absorption du produit est quasiment nulle.

Le rapport pondéral du Diss/ Huile de lin est de l'ordre de 1.28.

## 4.3 ESSAIS D'ABSORPTION DES FIBRES EN PHASE LIQUIDE

Les essais d'absorption permettent de connaître des propriétés intrinsèques des fibres vis-à-vis de l'absorption, vu que des essais préliminaires ont montré que le rapport E/C variant entre 0.3 à 0.5 pour des fibres de diss donne un composite non compact, et que la quantité d'eau reste insuffisante.

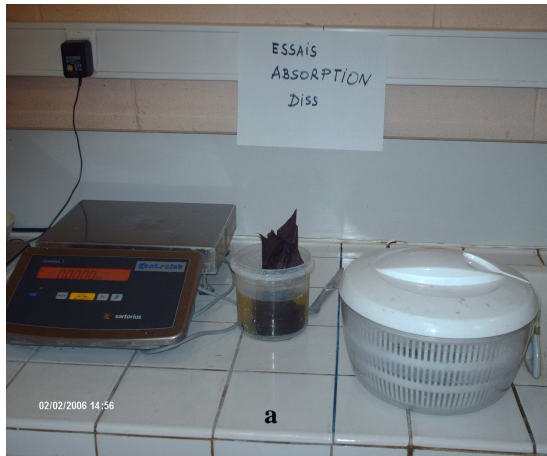
Les essais d'absorption s'avèrent indispensables pour connaître le taux d'absorption à saturation, l'inertie d'absorption et le temps de saturation. Ces caractéristiques nous permettent de connaître les rapports E/C pour chaque taux d'absorption des fibres naturelles ou traitées. Pour pallier aux grandes absorptions des fibres naturelles ou traitées vis-à-vis de certaines déficiences, des traitements ont été également envisagés pour corriger le taux d'absorption

### 4.3.1 Procédure de l'essai :

Les essais d'absorption consistent à peser une masse nette du produit, qu'on enveloppe dans une toile très fine dont on connaît la masse sèche et la masse humide. On place le produit dans

la toile humide, on pèse la masse du produit sec et la toile humide et l'élastique qui permet de fermer la toile et empêcher ainsi les fibres de l'échantillon de traverser la toile. Cinq mesures sont prises à des intervalles de temps différents (30 secondes, 1mn, 2mn, 5mn, 10mn, etc... jusqu'à saturation avec un minimum de 24 heures).

Avant chaque pesée les échantillons immergés dans l'eau sont essorés à deux reprises avec 15 coups chacune à vitesse constante, afin d'éliminer l'eau accrochée à la toile (figure 4.1).



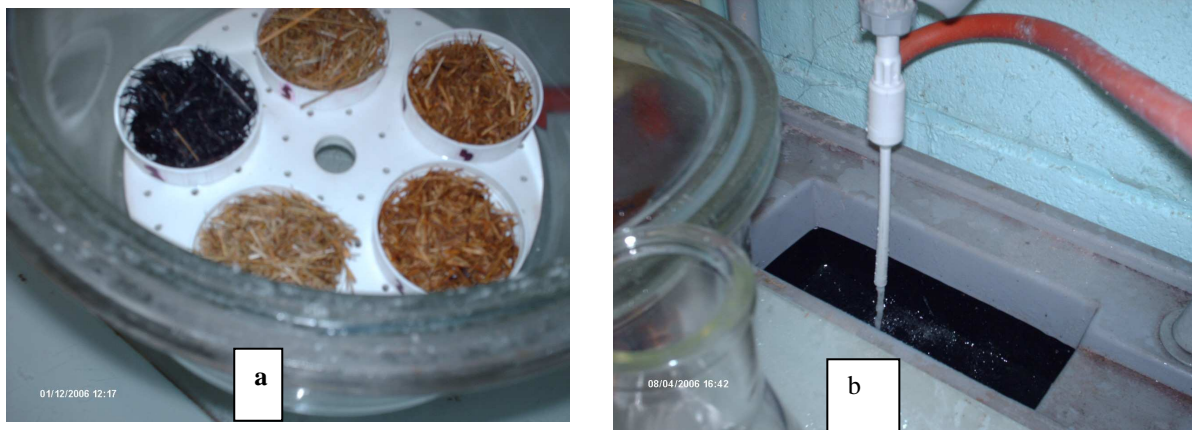
**Figure 4.1 : (a) Montage pour essai d'absorption, (b) essorage de l'échantillon**

#### **4.4 ESSAIS D'ABSORPTION DES FIBRES EN PHASE VAPEUR**

Les essais d'adsorption permettent de connaître des propriétés intrinsèques des fibres vis-à-vis de l'absorption en phase vapeur.

##### **4.4.1 Procédure de l'essai :**

Les essais d'absorption consistent à peser une masse nette du produit, qu'on met dans des récipients ouverts, qu'on place dans des dessiccateurs. On fait le vide dans les dessiccateurs après chaque pesée de l'échantillon. Les pesées sont faites à l'aide d'une balance de précision  $\pm 0.001$ .



**Figure 4.2 : (a) Montage pour essai d'adsorption, (b) Mise à vide des échantillons des fibres**

#### **4.5 ESSAIS DE PRISE :**

Le phénomène de prise, qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur, est un processus très complexe. Cette complexité est propre au matériau lui-même ainsi qu'aux réactions physico-chimiques responsables de ce processus. Il varie suivant la composition chimique du ciment, de la nature des différents constituants, de la température et éventuellement des dosages en adjuvants. Lors de cette phase essentielle dans la vie du matériau, des changements d'ordre rhéologique (passage d'un matériau pâteux à un milieu solide), chimique (hydratation) et physique (germination, cristallisation, croissance de phase) vont intervenir et interagir sur les propriétés mécaniques du matériau durci à court et long terme. L'évaluation du temps de prise est donc importante, notamment en présence de granulats susceptibles de relarguer des substances inhibitrices qui affectent la prise des matériaux ainsi que leurs propriétés mécaniques, notamment au jeune âge.

Les essais préliminaires de prise ont été effectués à l'aide de l'appareil de Vicat, suivant la norme EN 196-3 illustrés par la figure 4.3. Le principe de la mesure consiste à suivre l'évolution de la consistance du matériau au cours du temps, en laissant s'enfoncer une aiguille calibrée à différents moments, sous l'effet d'une charge de 300 g. Avec l'évolution de la réaction d'hydratation du ciment et de la consistance du matériau, l'aiguille s'enfonce de moins en moins. Lorsque l'aiguille s'arrête à une distance  $d = 2 \pm 1$  mm du fond du moule, on parle alors de début de prise. Le temps correspondant est mesuré à l'aide d'un chronomètre.

Une fois les essais préliminaires effectués, les temps de début et de fin de prise approximatifs connus, les essais sont alors effectués à l'aide du prisomètre automatique (figure 4.4), qui consiste à programmer le nombre de pas (limité à 49) et le temps de chaque pas. Les essais

sont effectués d'une façon automatique, et les résultats sont enregistrés sur le papier entourant le tambour d'enregistrement,



Figure 4.3 : Photographie : (a) appareil de Vicat, (b) Essais de prise



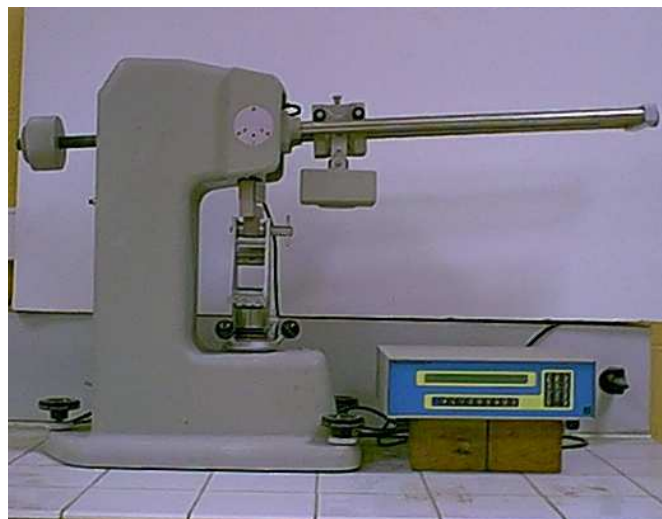
Figure 4.4 : Photographie du prismètre automatique

#### 4.6 ESSAIS DE RESISTANCES

Les résistances mécaniques en compression et en flexion sont déterminées sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm. Après conservation en salle humide (20°C, HR=98%) avant et après démoulage pendant 28 jours, elles sont ensuite séchées en étuve ventilée à 70°C jusqu'à masse constante, avant d'être soumises aux essais. Pour la flexion, les mesures ont été réalisées conformément à la norme EN 196-1, à l'aide d'un appareil équipé d'un système d'acquisition, de type PERRIER 41.04 (figure 2.10). Pour l'essai de résistance en compression, la presse hydraulique utilisée est du type PERRIER 68.7, d'une capacité de 300 kN sous un asservissement en force de  $10 \pm 4$  kN/s (figure 2.11). A la rupture, la charge maximale  $F_c$  est affichée sur le cadran de la presse. La résistance à la compression, calculée selon l'expression (2.1), est la moyenne de trois mesures pour chaque composition.

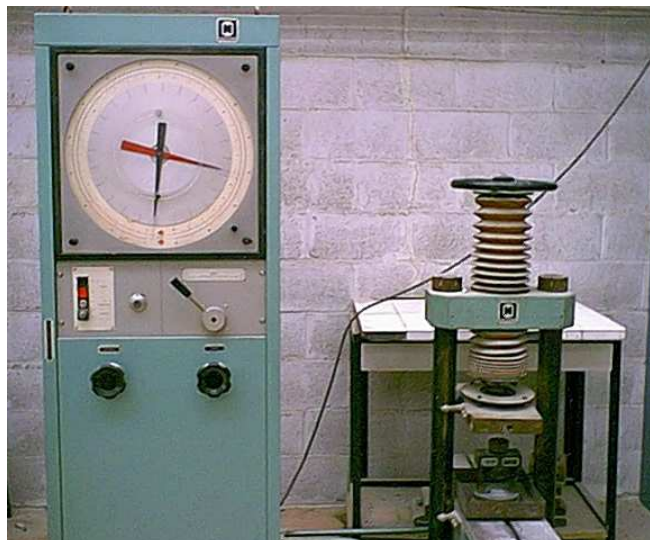
$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad (2.1)$$

où  $A$  est la surface de contact ( $m^2$ ).



**Figure 4.5:** Photographie de la presse pour essai de flexion





**Figure 4.6** : Photographie de la presse pour essai de compression



**Figure 4.7** : Photographie de la presse pour essai de compression et de flexion



**Figure 4.8** : Photographie de la table à chocs

## **4.7 MODULE D'ELASTICITE DYNAMIQUE**

### **4.7.1 Module d'élasticité dynamique**

La détermination du module d'élasticité dynamique du composite a été effectuée par auscultation ultrasonore. Le principe est basé sur la détermination de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans le matériau (célérité). Les ultrasons sont des vibrations mécaniques qui se propagent sous forme d'ondes, produisant un champ sinusoïdal de contraintes mécaniques. Pour un échantillon soumis à des oscillations forcées, il y a propagation d'ondes élastiques correspondant à des déformations de traction-compression. La déformation de la matière se produit dans le sens de la propagation. La détermination du module d'élasticité dynamique est effectuée à l'aide d'un appareil d'auscultation sonore des structures, type E0641 Ultrasonic Tester (figure 4.9).



**Figure 4.9** : Appareil Ultrasonic Tester type E0641

Le matériau est soumis à des oscillations longitudinales à l'aide d'un jeu de transducteurs électroacoustiques. Une impulsion de vibration longitudinale est produite par l'un des transducteurs, appliqué sur l'une des faces de l'élément. Après avoir parcouru une longueur  $L$  dans le matériau, cette onde est convertie en un signal électrique par un second transducteur électroacoustique. La célérité peut être reliée aux caractéristiques physico-mécaniques du matériau par l'expression (2.2).

$$C_L = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu)(1 - 2\nu)}} \quad (2.2)$$

avec :

$C_L$  : célérité de l'onde (m/s) ;

$E$  : module d'élasticité dynamique (MPa) ;

$\rho$  : masse volumique apparente ( $\text{kg/m}^3$ ) ;

$\nu$  : coefficient de Poisson dynamique.

Le module d'élasticité dynamique est obtenu à partir de l'expression (2.3).

$$E_d = \rho \cdot C_L^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (2.3)$$

Pour un coefficient de Poisson compris entre 0,2 et 0,3, on suppose le rapport  $\frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)}$

égal à 1, soit le module dynamique majoré :

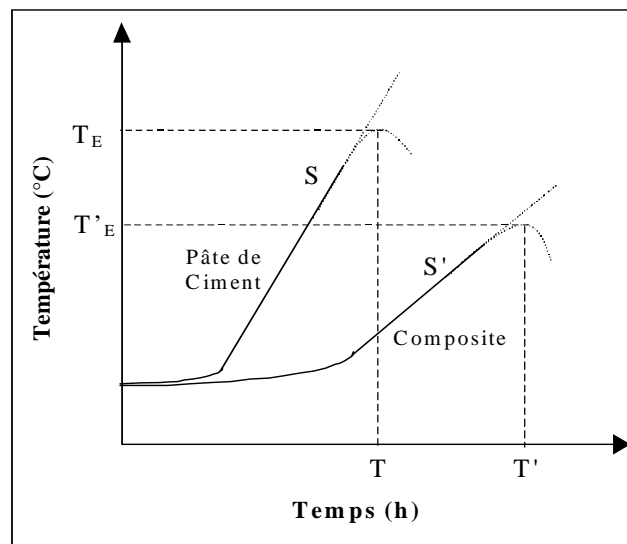


$$E_d^* = \rho \cdot C_L^2 \quad (2.4)$$

## 4.8 ESSAIS D'HYDRATATION

### 4.8.1 Compatibilité chimique ciment-fibres végétales

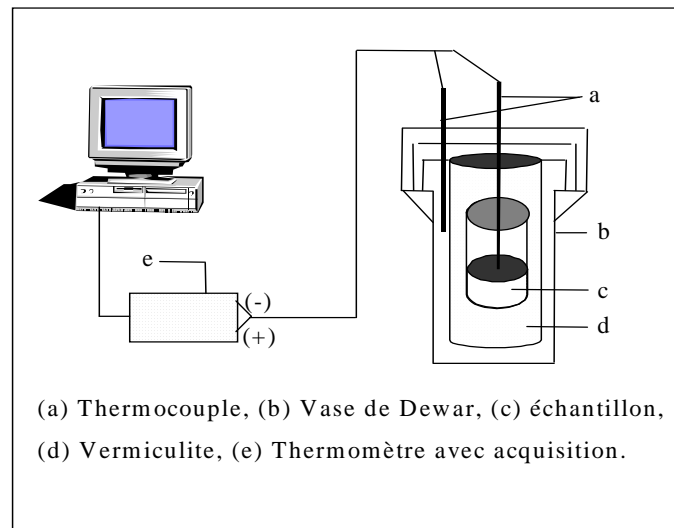
Dans certains cas, l'ajout de granulats dans une matrice cimentaire conduit à une inhibition de l'hydratation du liant, qui se manifeste par un retard dans la prise et le durcissement. Ces composites nécessitent une période de cure assez longue pour atteindre les résistances nécessaires. On parlera dans ce cas d'une incompatibilité chimique entre granulats et liant. Un exemple type de ce phénomène est donnée par la figure 4.10.



**Figure 4.10** : Exemple type de courbe température/temps lors de l'hydratation

Cet essai a été réalisé en ajoutant une quantité de fibres végétales variant de 10 à 50% en volume, pour une même quantité de ciment. Le matériau frais est placé dans un récipient cylindrique muni de son couvercle. Afin d'éviter les échanges avec le milieu ambiant, celui-ci est mis dans une autre enceinte remplie de vermiculite. Pour assurer l'isolation totale du système, l'ensemble est placé dans un vase de Dewar. Sachant que l'hydratation du liant est une réaction exothermique caractérisée par une élévation de température, l'enregistrement des courbes température-temps est réalisé à l'aide d'une centrale d'acquisition (Thermomètre type HI 92804 C) reliée à un ordinateur et d'un thermocouple (type K) placé au centre de l'échantillon. Pour vérifier l'absence de pertes de chaleur, un second thermocouple, placé dans

le vase de Dewar, permet de comparer la température à l'intérieur et à l'extérieur du système. Le dispositif expérimental utilisé, mis au point au laboratoire, est donné par la figure 4.11.



**Figure 4.11** : Dispositif expérimental pour l'essai d'inhibition

## 4.9 ETUDE DES VARIATIONS DIMENSIONNELLES

### 4.9.1 Variations dimensionnelles au séchage

La stabilité dimensionnelle est un paramètre important susceptible d'affecter la durabilité des matériaux de construction. Les déformations de la matrice sont dues soit aux processus physico-chimiques lors de l'hydratation, soit au gradient hydrique entre le matériau et le milieu extérieur.

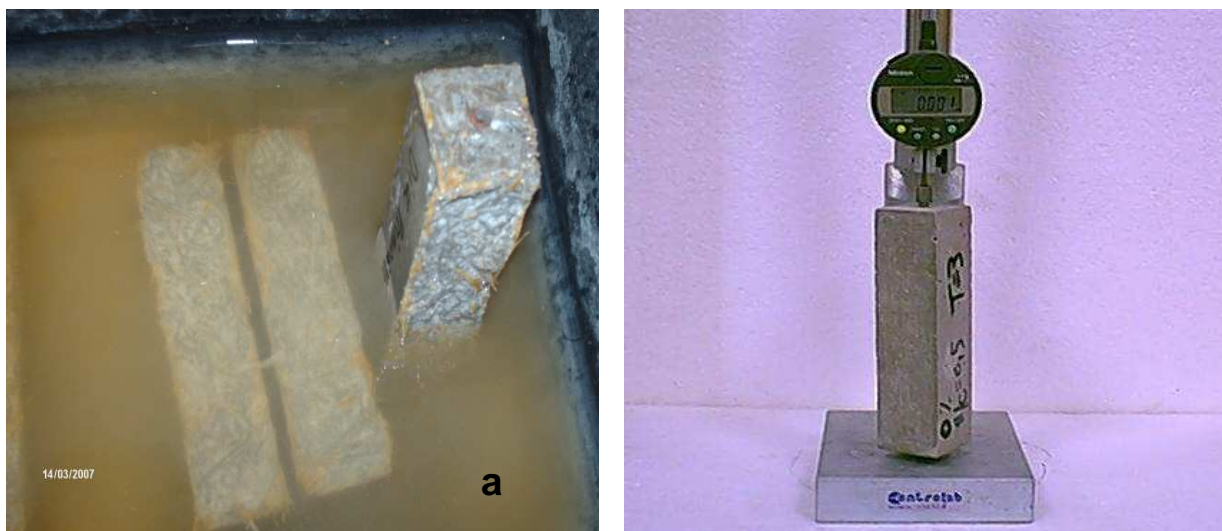
La mesure des variations dimensionnelles a été réalisée sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm, munies à leurs extrémités de plots métalliques. Après 24 heures de cure dans la salle de conservation, les éprouvettes sont démoulées et conservées à (20°C, HR=65%). Les variations dimensionnelles ont été déterminées à l'aide d'un rétractomètre électronique à affichage digital, capable d'apprécier des variations de l'ordre de  $10^{-3}$  mm (figure 2.14). La prise de valeur s'effectue pendant 28 jours, une durée au bout de laquelle on considère que l'hydratation est totale.

### 4.9.2 Variations dimensionnelles et pondérales extrêmes

Les variations dimensionnelles extrêmes d'un matériau, représentent la différence entre les dimensions à l'état sec et à l'état saturé. En pratique, elles signifient l'écart de situation le plus extrême que peut subir le matériau. Celui-ci correspond au passage d'un climat sec à un

contact accidentel avec l'eau. Certains travaux réalisés à ce sujet, ont mis en évidence le caractère représentatif des variations dimensionnelles extrêmes par rapport aux différents retraits et gonflements. Les variations pondérales expriment le taux d'eau absorbée par l'échantillon lors de l'immersion dans l'eau. Elles correspondent au remplissage des pores ouverts.

Les mesures des variations dimensionnelles et pondérales extrêmes ont été réalisées sur des éprouvettes de dimensions 40 x 40 x 160 mm, munies de plots à leurs extrémités. Après 28 jours de cure en salle de conservation, ces dernières ont été séchées à l'étuve à 70°C jusqu'à masse constante. Afin de simuler les variations climatiques extrêmes, nous avons procédé à un cycle de séchage-immersion dans l'eau jusqu'à saturation totale. Les variations des dimensions et de la masse des échantillons dans le temps, ont été déterminées à partir de la variation de leurs dimensions longitudinales et de leurs masses à l'aide d'un rétractomètre électronique et d'une balance.



**Figure 4.12** : (a) Immersion des échantillons, (b) Photographie du rétractomètre

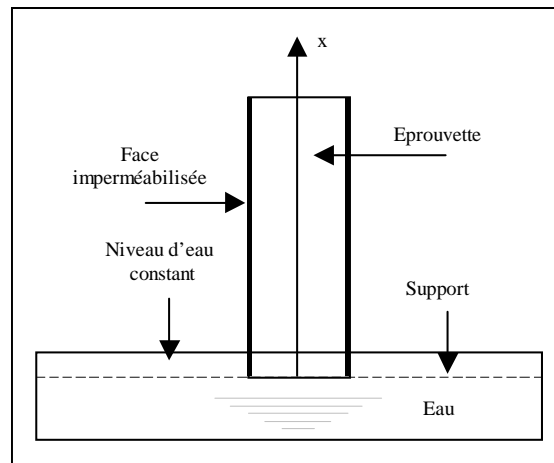
## 4.10 CAPPILLARITE

### 4.10.1 Propriétés hydriques des matériaux

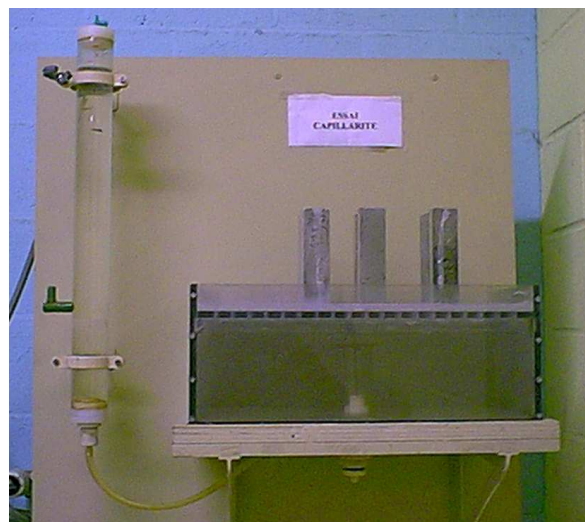
Les propriétés hydriques des matériaux poreux, exposés aux variations d'humidité, sont des paramètres essentiels qui conditionnent leur durabilité. En effet, le mouvement de l'eau dans les capillaires affecte directement les propriétés mécaniques, notamment par le transfert des agents agressifs ; les propriétés thermiques sont également modifiées. Le comportement hydrique a été étudié à travers la détermination expérimentale de l'absorption d'eau par

capillarité à partir de l'état sec, ainsi que la diffusivité hydrique en milieu non saturé, à température ambiante.

Les essais d'imbibition capillaire ont été réalisés, à température ambiante, sur des éprouvettes de dimensions 40 x 40 x 160 mm, préalablement séchées jusqu'à masse constante. Afin d'assurer un écoulement unidimensionnel et d'éviter tout échange d'humidité avec l'air environnant, les faces latérales ont été imperméabilisées à l'aide d'un film plastique thermo-rétractable. L'alimentation en eau liquide est assurée en mettant l'une des sections transversales en contact avec l'eau contenue dans un bac (figure 4.13). Le dispositif expérimental, conçu au laboratoire, utilisé dans l'essai d'imbibition capillaire, est donné par la figure 4.14.



**Figure 4.13** : Schéma du dispositif expérimental pour l'essai d'imbibition capillaire



**Figure 4.14** : Montage expérimental pour l'essai d'imbibition capillaire

#### 4.10.2 Détermination de la sorptivité

Ce paramètre représente une caractéristique macroscopique intrinsèque du matériau poreux, utilisé dans l'étude de la durabilité des matériaux de construction. Il traduit la capacité d'un matériau à absorber l'eau par capillarité. Le coefficient de sorptivité est déterminé à partir du suivi de l'évolution du volume d'eau absorbé par l'échantillon, rapporté à la surface de contact (40 x 40 mm) en fonction de la racine carrée du temps. La quantité d'eau absorbée est mesurée régulièrement dans le temps, par pesée à l'aide d'une balance précise au mg. La courbe d'évolution obtenue, qui est généralement une droite dans la première phase d'absorption, permet de calculer la sorptivité du matériau suivant l'expression (2.5) :

$$i = S \cdot \sqrt{t} + i_0 \quad (2.5)$$

avec :

$i$  : Coefficient d'absorption capillaire ( $\text{mm}^3/\text{mm}^2$ ). Il a la dimension d'une longueur et correspond, au volume cumulé absorbé par unité de surface absorbante ;

$S$  : Sportivité du matériau ( $\text{m}/\text{s}^{1/2}$ ) ;

$i_0$  : Coefficient empirique dépendant de la surface de contact de l'échantillon avec l'eau ( $\text{m}^3/\text{m}^2$ ). Il correspond au remplissage instantané de pores ouverts sur la surface de l'échantillon en contact avec l'eau.

#### 4.10.3 Détermination de la diffusivité hydrique

La diffusivité hydrique, ou plus exactement le coefficient de transport capillaire, est un paramètre fondamental dans les problèmes de simulation du mouvement de l'humidité dans les matériaux. Il varie avec la température et la teneur en eau. Ce coefficient renseigne sur la facilité de transfert de l'humidité en phase liquide et vapeur et par conséquent de diffusion d'agents agressifs. La variation de ce coefficient avec la température est due principalement aux variations de la viscosité et de la tension superficielle du liquide.

Dans cette étude, on s'intéresse à l'influence de la teneur en eau sur le coefficient de transport capillaire dans les conditions ambiantes.

La diffusivité hydrique a été mesurée par la méthode gravimétrique. En considérant le cas d'un écoulement unidirectionnel dans un milieu poreux non saturé, l'équation de transfert d'humidité, en conditions isothermes, en fonction de la teneur volumique en eau, est donnée par l'expression (2.6).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (2.6)$$

avec :

$\theta$  : teneur volumique en eau ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) ;

$t$  : temps (s) ;

$x$  : coordonnée spatiale (m) ;

$D_{\theta}$  : coefficient de diffusivité hydrique ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) pour une teneur volumique  $\theta$ , avec comme conditions initiales et aux limites :

$$\theta = \theta_s \text{ pour } x=0 \text{ et } t \geq 0$$

$$\theta = \theta_0 \text{ pour } x > 0 \text{ et } t = 0$$

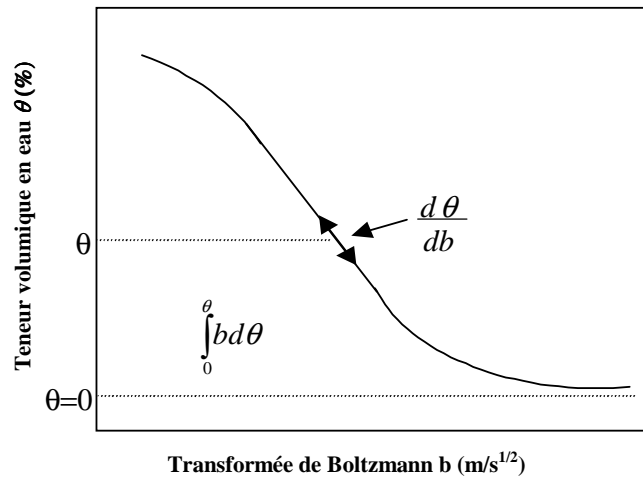
La diffusivité hydrique est déterminée par la connaissance des profils hydriques  $\theta(x,t)$ , caractérisant l'évolution de la teneur en eau dans l'espace et dans le temps. En utilisant la transformation de Boltzmann ( $b = x \cdot \sqrt{t}$ ), l'expression (2.6) s'écrit :

$$-\frac{b}{2} \left( \frac{d\theta}{db} \right) = \frac{d}{d\theta} \left( D_{\theta} \frac{d\theta}{db} \right) \quad (2.7)$$

Par intégration de cette équation, le coefficient de diffusivité hydrique est déterminé, pour une teneur en eau  $\theta$ , par l'expression (2.8) :

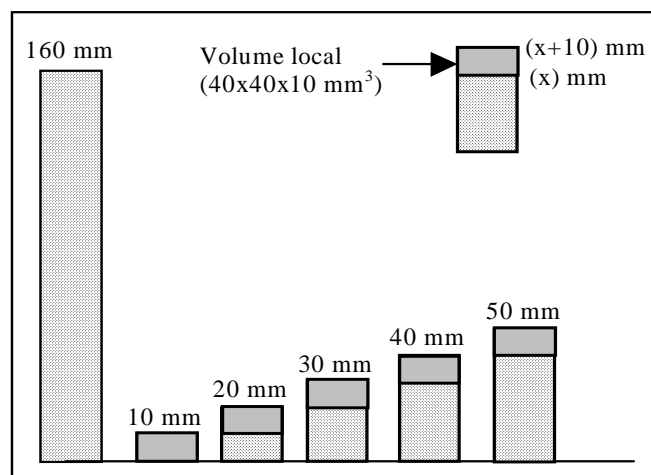
$$D_{\theta} = -\frac{1}{2} \frac{1}{\left( \frac{d\theta}{db} \right)} \int_0^{\theta} b \cdot d\theta \quad (2.8)$$

La pente  $\left( \frac{d\theta}{db} \right)$  et l'aire sous la courbe  $\int_0^{\theta} b \cdot d\theta$  sont déterminées à partir du profil type  $\theta(b)$ , selon la figure 4.15.



**Figure 4.15** : Exemple de profil type  $\theta(b)$

Le principe de la méthode gravimétrique consiste à suivre l'évolution du volume d'eau absorbé en fonction du temps pour différentes hauteurs de l'échantillon, découpées dans une même éprouvette puis imperméabilisées sur les faces latérales afin d'assurer un transfert monodirectionnel, comme indiqué sur la figure 4.16.



**Figure 4.16** : Découpe des échantillons à différentes hauteurs pour la détermination des profils hydriques par la méthode gravimétrique, d'après M. S Goual (2000)

L'évolution de la teneur volumique en eau dans le volume local correspondant à la différence entre les hauteurs successives, a été déterminée à des abscisses de  $x = 10, 20, 30, 40$  mm, suivant l'expression (2.9).

$$\theta(x,t) = \frac{V_{\theta}(x+10,t) - V_{\theta}(x,t)}{V_{Local}} \quad (2.9)$$

avec :

$V_{\theta}(x,t)$  : volume d'eau absorbé par l'échantillon ( $m^3$ ), pour une hauteur donnée à un instant  $t$  ;

$x$  : hauteur de l'échantillon (m) ;

$V_{Local}$  : volume local étudié ( $m^3$ ).

Le profil type déduit à partir du profil hydrique selon l'expression (2.8), est déterminé en faisant correspondre la teneur en eau  $\theta(x,t)$  à celle de  $\theta(b = x\sqrt{t})$ .

## 4.11 ESSAIS DE TPS

### 4.11.1 Propriétés thermiques des matériaux : conductivité thermique

Les rappels théoriques concernant la sonde TPS ont été donnés dans le Chapitre 1.

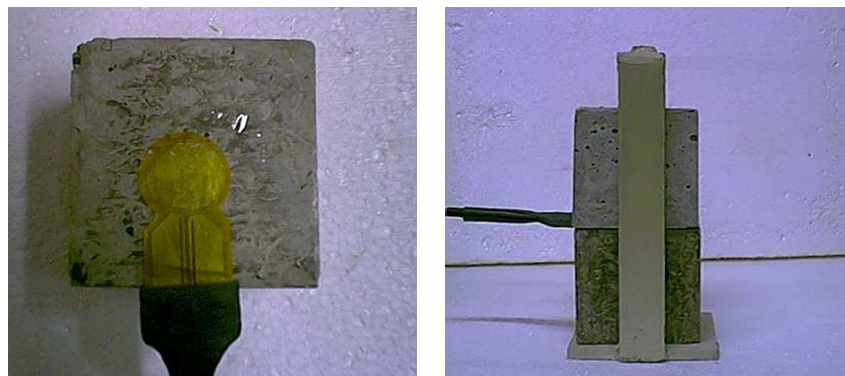
Le dispositif expérimental utilisé pour la mesure de la conductivité thermique, est donné par la figure 4.17. Il comprend l'élément TPS, une alimentation stabilisée en tension, un pont de Wheatstone, une centrale d'acquisition de type FLUKE HYDRA et un micro-ordinateur pour le contrôle et le traitement des données.



**Figure 4.17** : Dispositif expérimental utilisé pour la mesure de la conductivité thermique



Afin que le flux soit réparti sur une surface plus représentative de l'échantillon, d'une part et de protéger la sonde contre les dommages d'autre part, deux plaques de cuivre de 60 x 60 x 60 mm et de 0,1 mm d'épaisseur ont été introduites entre le capteur TPS et les deux blocs du même matériau de dimensions 100 x 100 x 100 mm (figure 4.18). L'épaisseur a été choisie pour satisfaire la condition de la profondeur d'émission de chaleur nommée "probing depth" par S. E. Gustafsson (1991). Dans le but de minimiser l'influence de la résistance de contact, les surfaces des deux échantillons ont été préalablement polies. Un dispositif de serrage a été employé pour assurer un bon contact entre les différents éléments. L'ensemble est ensuite introduit dans une enceinte à température constante. Afin de vérifier avant chaque essai la stabilité thermique au niveau des échantillons, deux thermocouples ont été soudés sur les deux plaques de cuivre. Pour obtenir des résultats représentatifs, la durée totale de l'expérience est de 240 s à 360 s et la tension fournie par l'alimentation stabilisée est de  $3.0 \pm 0.1$  Volt. On note également que l'élévation de la température durant toute la période de l'essai ne doit pas dépasser  $1^{\circ}\text{C}$  dans le matériau étudié.



**Figure 4.18** : Mise en place de la sonde TPS

#### 4.12 ESSAIS MECANQUES SUR LES FIBRES

Les essais mécaniques de traction sont exécutés à l'aide de l'appareil montrée sur la figure 4.19 conçue pour les polymères « ZWICKI 1120 », C'est une machine universelle, facile et flexible, de longueur de 1.12 m et de poids de 10 kg, Elle est pilotée par ordinateur à travers le logiciel Test Expert version 1.9 qui assure le traitement des valeurs mesurées et le contrôle du déroulement des essais, Le dispositif acquis donne la possibilité de calculer instantanément les paramètres mécaniques en fonction des conditions de travail; vitesse de déformation et la géométrie de l'éprouvette, et donne des Procès Verbaux des différents Paramètres

mécaniques et des courbes contraintes-déformations correspondantes de chaque essai. La longueur utile choisie est de 33 mm, l'épaisseur utilisée varie de 1.7 mm à 3.1 mm et la vitesse de déformation est prise variable de 50 mm/mn jusqu'à 300 mm/min d'après la norme ISO 527

Pour tous les essais la température est ambiante.

Le dispositif nous donne la possibilité de calculer instantanément les paramètres mécaniques en l'occurrence : Le module d'élasticité, la résistance mécanique, la limite d'élasticité conventionnelle, la résistance à la rupture, la déformation à la rupture, le travail à la force maximale.

A partir des Procès Verbaux obtenus sur ordinateur, on trace la variation des propriétés mécaniques en fonction la variation de l'épaisseur ainsi que la variation de la vitesse de déformation pour les éprouvettes de forme haltère



**Figure 4.19** : Machine de traction pour composites

[Tapez un texte]

## **CHAPITRE V**

### **Résultats Expérimentaux et Interprétation des Résultats Concernant les composites**

Les matériaux composites à base de fibres naturelles sont de plus en plus couramment utilisés comme alternative aux matériaux conventionnels, principalement en raison de leur haute résistance et rigidité spécifique, mais aussi à cause de leurs propriétés mécaniques ajustables dans des grandes proportions. Par contre, avant d'utiliser ce type de matériaux de manière fiable dans les constructions, une caractérisation poussée et précise de leurs propriétés mécaniques est nécessaire. En raison du nombre des paramètres constitutifs et de leur inhérente variabilité, la caractérisation expérimentale classique de matériaux composites s'avère souvent fastidieuse et requiert un grand nombre de procédures de test et de spécimens pour être menée à bien. La méconnaissance du matériau de base (le diss) ou dans le composite nous a amené à programmer un certain nombre d'essais habituellement utilisés pour la caractérisation du produit fini le composite à base de diss pour la fabrication de briques ou l'utilisation du produit de base pour la fabrication des liants plus résistants en traction. Les plus importants essais programmés pour l'identification et la découverte de ce matériau sont détaillés ci-après.

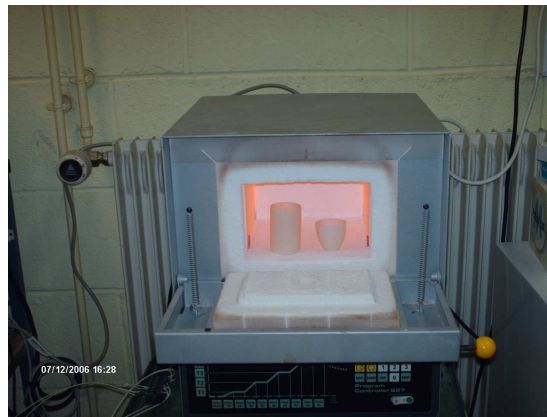
### **5.1 ESSAIS SUR FIBRES DE DISS**

Les essais de traction sur les fibres ont pu donner des résistances à la traction qui avoisinent les 100 MPa et un module d'élasticité de l'ordre de 1300 MPa, cette importante résistance à la traction est due certainement à la présence de Silice à l'état amorphe dans le diss naturel bouilli broyé et séché, et également dans le diss non bouilli broyé et séché et calciné. La Silice présente dans les fibres de diss se cristallise dans les fibres de diss calciné. La calcination a été faite dans un four de marque Nabertherm dont la température varie entre 30 et 3000°C. Le programme de calcination choisi a été nommé P9, qui correspondait aux températures en fonction du temps suivantes :

passage de 0 à 900 °C entre le temps 0 à 30 mn

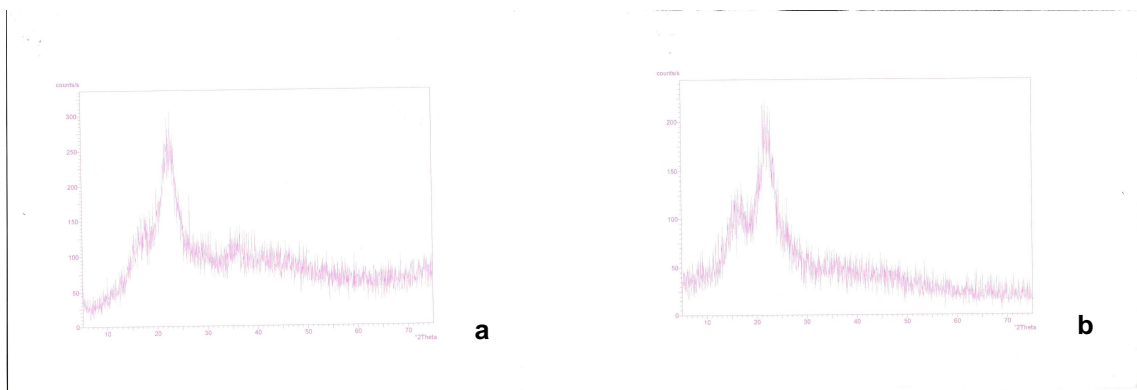
Température stabilisée à 900 °C durant 8H30 mn

Passage de 900 à 0°C durant 1 Heure.

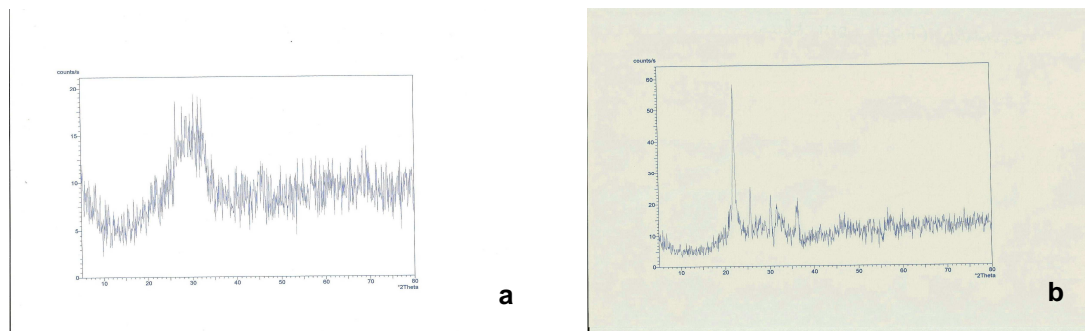


**Fig. 5.1 Four de marque Nabertherm**

Les résultats des essais de détermination des éléments minéraux présents dans les fibres de diss ont été opérés à l'aide du diffractomètre XERT-MPD marque Philips, et les résultats sont représentés sur la figure 5.2 et 5.3



**Fig 5.2 Analyse par diffraction aux rayons X (a) Diss naturel non bouilli, (b) Diss naturel bouilli**



**Fig 5.3 Analyse par diffraction aux rayons X (a) Diss Calciné non bouilli, (b) Diss Calciné bouilli**

L'analyse au Microscope à balayage et analyse aux rayons X ont montré que le pourcentage de Silice par rapport aux autres matières minérales est de l'ordre de 80% pour le diss non bouilli et pour le diss bouilli. La calcination des fibres de diss a donné une matière solide qui, après analyse aux rayons X, a donné des courbes identiques à celles de la Silice ( figures 5.2 et 5.3).

### 5.1.1 Constituants organiques

L'analyse chimique des fibres de diss nous a permis de détecter les matières organiques suivantes :

| Matière Organiques    | Diss Non Bouilli (%) | Diss Bouilli (%) |
|-----------------------|----------------------|------------------|
| Chlorophylle (Type a) | 7.019                | 8.907            |
| Chlorophylle (Type b) | 1.686                | 4.539            |
| Sucre                 | 62.24                | 0                |

**Tableau 5.1 Composés organiques dans les fibres de diss**

### 5.1.2 Constituants lignocellulosiques [Bahlouli et al (2007)]:

Dans cette analyse, il a été possible de déterminer uniquement les hémicelluloses et la cellulose. Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau 5.2

| Constituants                                    |                  | Quantité<br>(grammes) | Taux (%)     |
|---|------------------|-----------------------|--------------|
| Poids de l'échantillon                          |                  | <b>5</b>              | <b>100</b>   |
| Lipides et substances solubles dans le méthanol |                  | <b>0.82</b>           | <b>16.40</b> |
| Cellulose                                       |                  | <b>1.12</b>           | <b>22.40</b> |
| Hémicellulose                                   | Hémicellulose A  | <b>1.65</b>           | <b>33.00</b> |
|   | Hémicellulose B1 | <b>1.09</b>           | <b>21.80</b> |
|   | Hémicellulose B2 | <b>0.23</b>           | <b>4.70</b>  |
|   | Hémicellulose B3 | <b>0.03</b>           | <b>0.60</b>  |
| Les hydrosolubles                               |                  | <b>0.06</b>           | <b>1.20</b>  |

**Tableau 5.2 Composés lignocellulosiques dans les fibres de diss**

**5.1.3 Constituants Hydrosolubles par traitement thermique:**

Etant donné le traitement thermique fait sur les fibres de diss non bouilli pour extraire les constituants hydrosolubles dans l'eau bouillante du diss bouilli lavé, du diss bouilli non lavé et du diss broyé non bouilli. Les résultats sont représentés sur le tableau 5.3.

| Type de fibres                                       | % des matières Hydrosolubles |
|--|------------------------------|
| Fibres de diss non bouillies                         | <b>16.83</b>                 |
| Fibres de diss bouillies non lavées                  | <b>10.10</b>                 |
| Fibres de diss bouillies lavées (traitement utilisé) | <b>4.95</b>                  |

**Tableau 5.3 Pourcentage des matières organiques éliminées par ébullition**

Les analyses par calcination des composants minéraux et organiques, nous a permis de quantifier les parties minérales et végétales dans les différentes cas de fibres, et les résultats sont représentés sur le tableau 5.4.

| Type de fibres              | % de matières minérales | % de matières organiques |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Diss Non broyé              | <b>4.97</b>             | <b>95.03</b>             |
| Diss Broyé Bouilli lavé     | <b>4.90</b>             | <b>95.10</b>             |
| Diss Broyé Non Bouilli      | <b>4.76</b>             | <b>95.24</b>             |
| Diss Broyé Bouilli non lavé | <b>5.15</b>             | <b>94.85</b>             |

**Tableau 5.4 Pourcentage des matières minérales et organiques dans les fibres de diss**

Les analyses chimiques, lignocellulosiques des fibres de diss ont montré l'existence d'un plus grand pourcentage de matière organique, et un faible pourcentage de matières minérales. La matière minérale obtenue après calcination à 900°C est de nature solide pour le diss non bouilli et en filaments pour les fibres de diss bouillies. Elles contiennent après analyse minéralogique au MEB à plus de 78% de silice à l'état cristallin.

Le pourcentage de cellulose évalué à 29.20% et d'hémicellulose de l'ordre de 60% et d'un important pourcentage de Silice offre aux fibres de diss une très grande résistance à la traction.

Les valeurs des matières hydrosolubles montrées au tableau 5.3 sont plus importantes dans le diss naturel, plus faibles dans le diss bouilli et lavé, et moyennes dans les fibres bouillies non lavées. L'analyse organique des fibres de diss montre bien qu'une grande

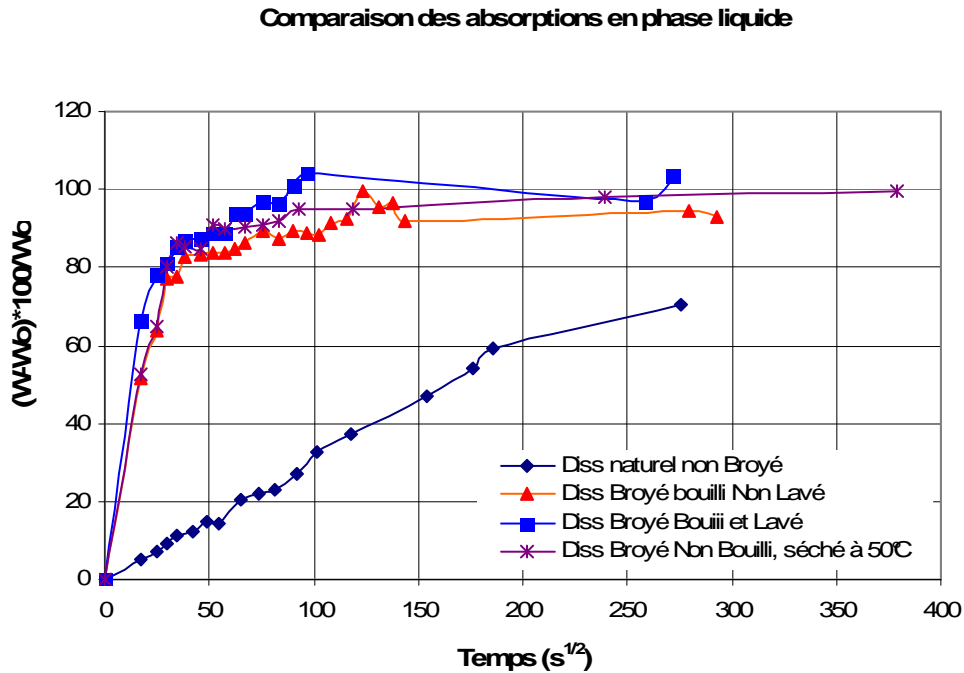
majorité de ces hydrosolubles sont formées de sucre évalué à 62.24 % dans les fibres de diss non bouillies et nulles dans les fibres de diss bouillies, comme le montre le tableau 5.1. Ces hydrosolubles existants et particulièrement les sucres sont la cause de retard de prise observé lors des essais de prise effectués sur les composites de diss. Ceci a été aussi bien expliqué par les essais de prise effectués sur des pâtes de ciments témoins mélangées avec l'eau du réseau ou l'eau de l'ébullition du diss.

**5.2 ESSAIS D'ABSORPTION EN PHASE LIQUIDE**

**5.2.1 Résultats Expérimentaux**

Etant donné la forte absorption des fibres, des essais d'absorption sont nécessaires pour connaître avec exactitude le taux d'absorption, ainsi la cinétique d'absorption.

Ces essais ont été exécutés sur des fibres non traitées ou les fibres traitées à l'eau bouillie. La figure 5.4 montre le rapport relatif des absorptions en phase liquide  $(W-W_0)*100/W_0$ , et ce pour les différents cas élémentaires possibles de diss naturel ou traités thermiquement.

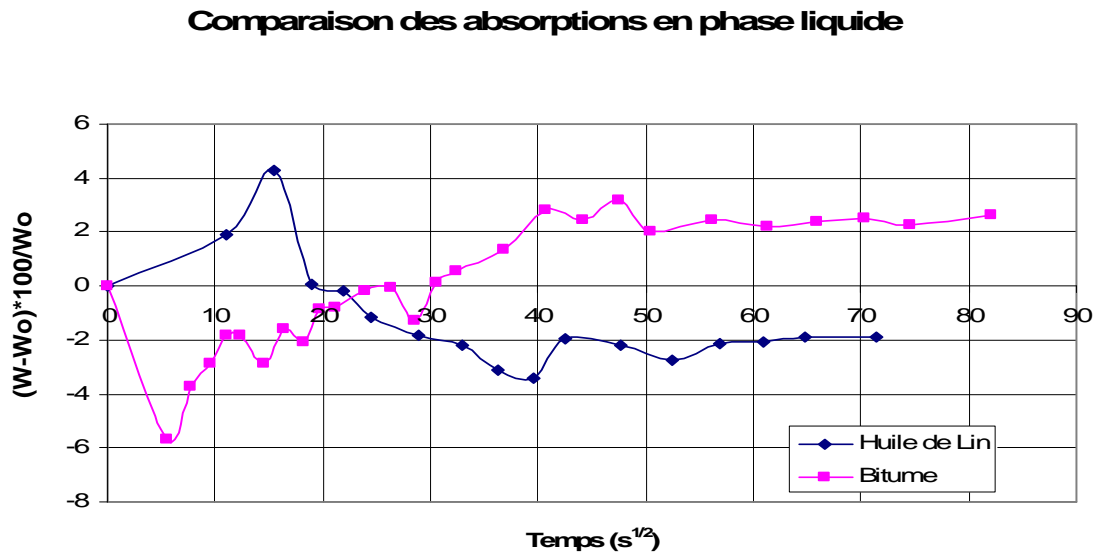


**Fig 5.4 Essais d'absorption des fibres de diss naturel ou traités thermiquement**

Pour atténuer le taux d'absorption des traitements ont été nécessaires en utilisant des produits tels que l'huile de lin et le bitume pour rendre les fibres hydrofuges, et réduire complètement le taux d'absorption. Les résultats des essais d'absorption en phase



liquide obtenus pour les fibres enrobées de huile de lin et de bitume sont représentés sur la figure 5.5



**Fig 5.5 Essais d'absorption des fibres de diss enrobées de huile de lin ou bitume**

### 5.2.2 Interprétation de résultats

Les fibres de diss naturelles non broyées coupées absorbent moins que les fibres broyées, du fait que la couche extérieure est imperméable, et l'absorption se fait par l'intermédiaire des vacuoles. Mais si on poursuit l'absorption sur plusieurs jours, l'absorption pourrait atteindre les valeurs obtenues avec les fibres de diss broyées, une fois toutes les parties des tiges sont complètement saturées. Il est à signaler que le Diss est une graminée qui contient des réserves en eau, et qu'elle est utilisée dans les chaumières de campagne pour assurer l'étanchéité des toitures.

Par contre les fibres broyées séchées de diss non bouilli, bouilli non lavé et bouilli lavé présentent des absorptions qui avoisinent les 100%, ainsi qu'une même cinétique d'absorption et un temps de saturation avoisinant 60 minutes, ceci confirme que l'ébullition n'affecte pas profondément la structure des fibres.

Les fibres enrobées d'huile de lin et bitume présentent des absorptions très faibles voire même négligeables. Ceci explique que les produits utilisés rendent les fibres de diss complètement étanches. La première valeur négative obtenue pour l'essai d'absorption des fibres de bitumes peut être éliminée du fait que lors du premier essorage on a des pertes de matières accrochées aux fibres de diss enrobées de bitume. L'annulation de la première valeur nous amène à trouver des absorptions nulles au cours du temps.

Pour le cas des composites à base de matrice cimentaire, on doit s'intéresser à l'absorption au bout des 4 à 5 premières heures, correspondant au temps d'hydratation du ciment.

Les essais d'absorption des fibres permettent d'évaluer le rapport Eau/Ciment optimum à utiliser dans les composites pour avoir un matériau de meilleures performances mécaniques.

### 5.3 ESSAIS D'ABSORPTION EN PHASE VAPEUR

#### 5.3.1 Résultats Expérimentaux

Les résultats des essais d'adsorption des fibres de diss sont représentés sur la figure 5.6

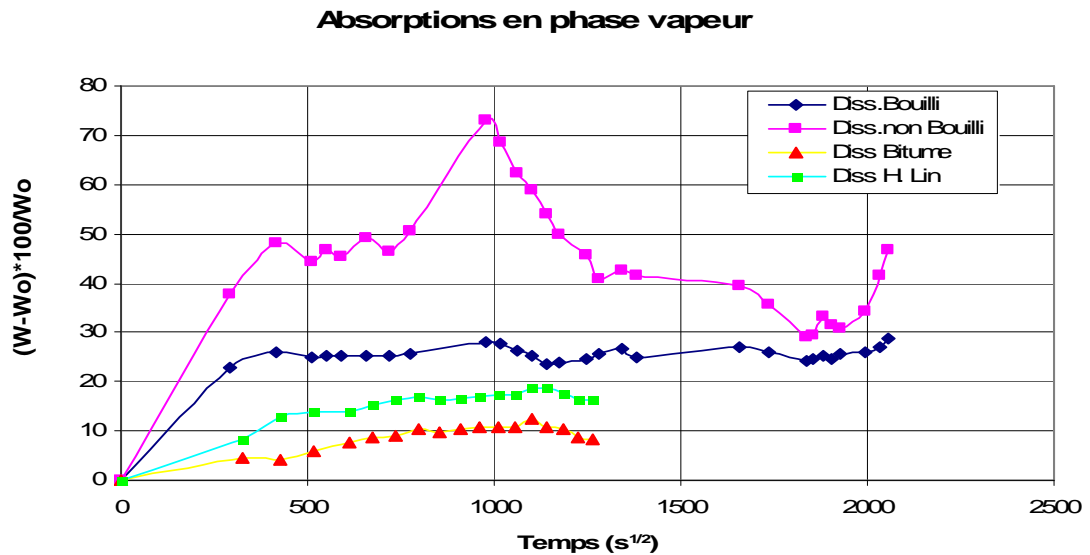


Fig 5.6 Essais d'absorption en phase vapeur des fibres de diss avec ou sans traitements

#### 5.3.2 Interprétation de résultats

L'absorption du diss non bouilli en phase vapeur est plus importante que celle du diss bouilli, dû certainement aux présences de certaines substances hydrophiles, puisqu'en phase liquide, les différences d'absorption ne diffèrent pas autant.

A partir du onzième jour dans le dessiccateur, les échantillons du diss non bouillis ont moisie, alors les échantillons du diss bouilli, n'ont pas été contaminés, jusqu'à ce jour (53ème jour de l'expérimentation). Le caractère hydrophile, et la contamination des fibres de diss non bouillies par les moisissures confirment bien la présence de substances favorables à la contamination telles que les sucres.

Par contre, on remarque également une faible adsorption des fibres de diss enrobées de bitume et d'huile de lin, comme le sont aussi en phase liquide, ceci confirme bien que ces deux traitements assurent une étanchéité acceptable au matériau de base.

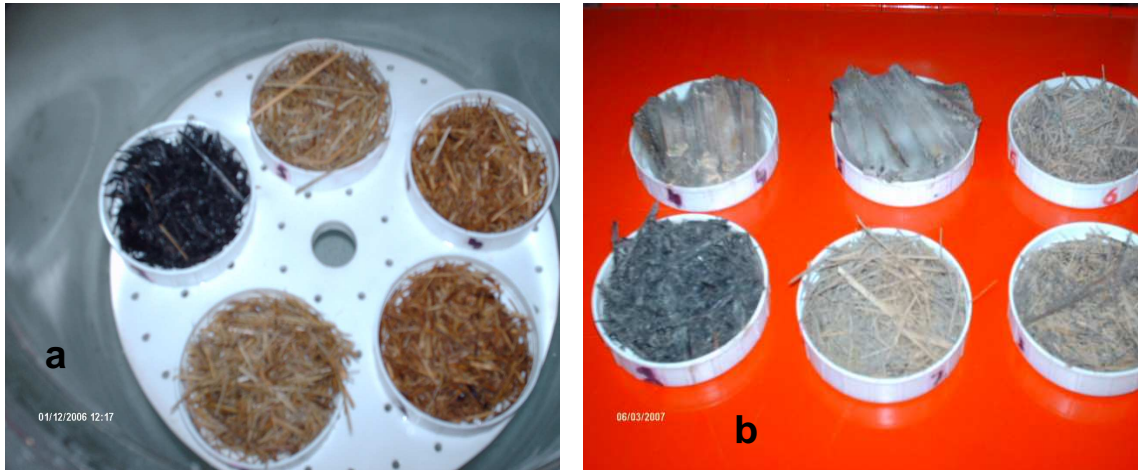


Fig 5.7 Echantillons soumis aux essais d'adsorption

5.4 ESSAIS DE MODULE D'ELASTICITE DYNAMIQUE

5.4.1 Résultats Expérimentaux

Les essais de module d'élasticité dynamique ont été données en fonction des masses volumiques, et sont représentés sur les histogrammes de la figure 5.8, et ce pour le diss non bouilli et les différentes formulations de diss bouilli.

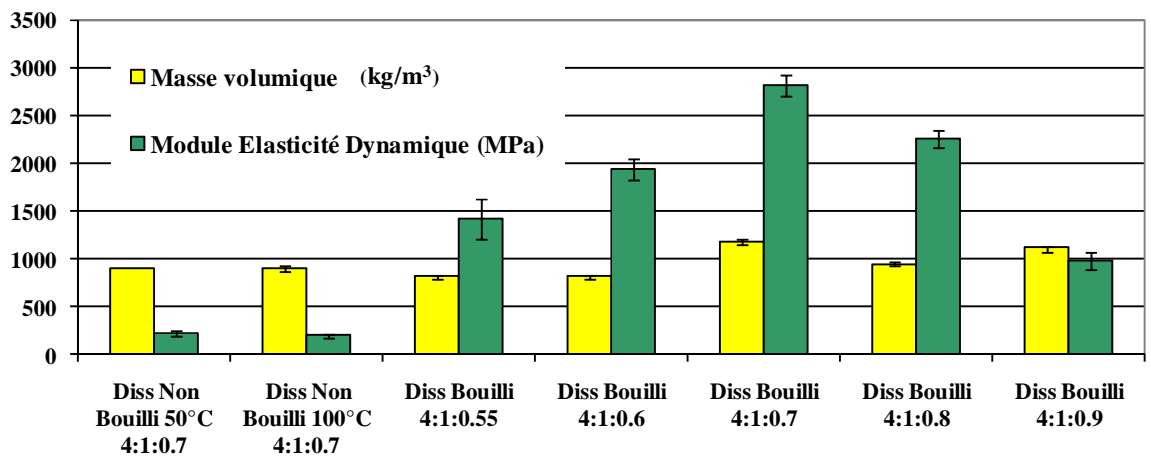
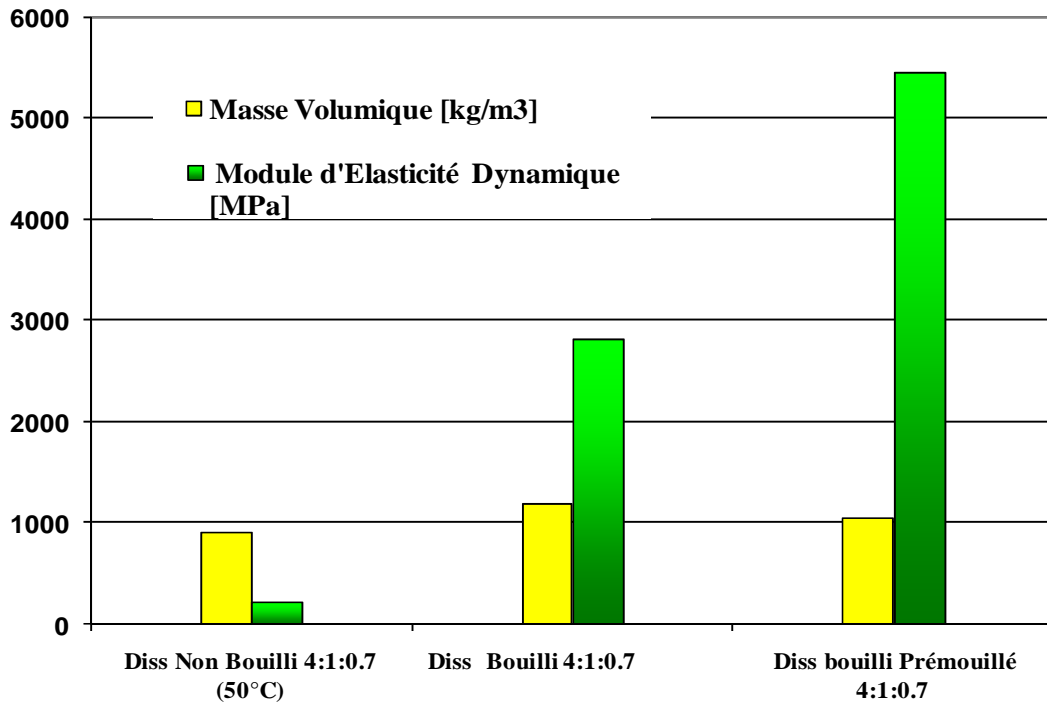


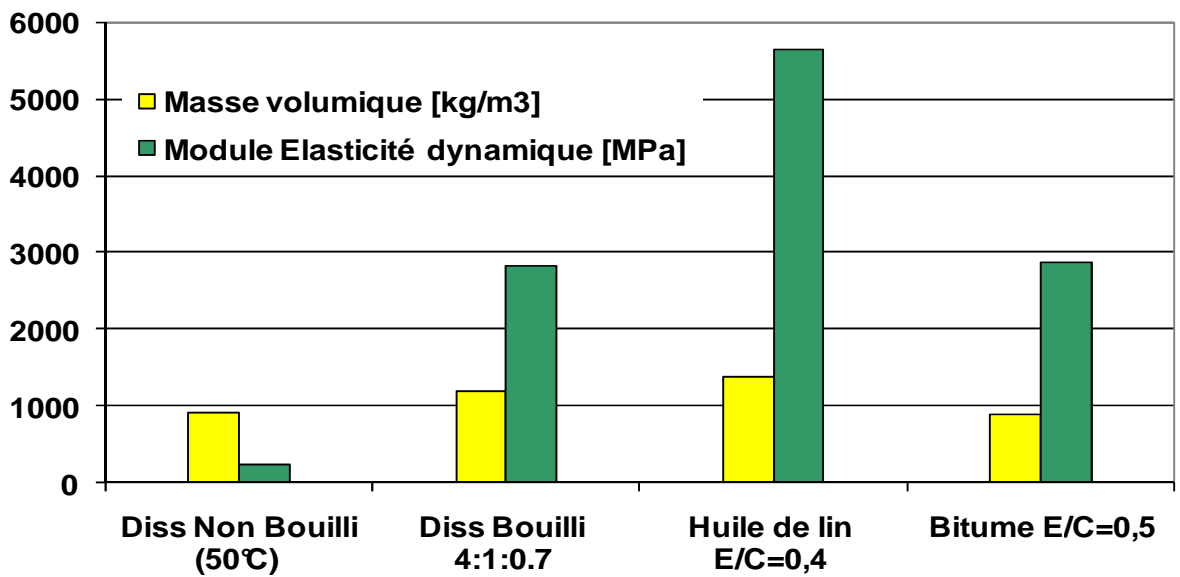
Fig 5.8 Module d'Elasticité Dynamique des composites à base de diss non bouilli et bouilli

Les valeurs des modules d'élasticité dynamique des composites du diss non bouilli, du diss bouilli et du diss prémouillé et pour le rapport E/C optimal, pris constant et égal à 0.7 sont représentés sur l'histogramme de la figure 5.9.



**Fig 5.9 Module d'Elasticité Dynamique des composites à base de diss non bouilli et bouilli et prémouillé**

Comme il a été décrit au chapitre 4, les fibres de diss ont subi un traitement par enrobage à l'huile de lin et au bitume, et ce afin d'atténuer les absorptions d'eau importantes. Les résultats de ces deux traitements sont représentés sur la figure 5.10.



**Fig 5.10 Module d'Elasticité Dynamique des composites à base de diss non bouilli et bouilli et diss enrobé de huile de lin et bitume**

#### 5.4.2 Interprétation de résultats

Pour des masses volumiques du même ordre de grandeur, les valeurs des modules d'élasticité dynamiques sont très faibles pour les éprouvettes de diss non bouilli, à cause de l'absence d'adhérence des fibres de diss à la pâte de ciment en raison de la mauvaise hydratation du ciment. Elles sont par contre importantes pour les composites de diss traitées à l'eau bouillie.

Pour le diss bouilli, la formulation optimum, qui donne le meilleur module d'Elasticité dynamique est celle qui comprend le rapport eau/ciment égal à 0.7. Ce rapport comprend l'eau absorbée par les fibres vu leur fort taux d'absorption et le reste sert à l'hydratation du ciment pendant le malaxage et la cure des éprouvettes.

Il a été recommandé par G. Dreux (2002), que lors de l'utilisation des fibres végétales à forte absorption d'eau en tant qu'agrégats, il est nécessaire de les prémouiller, jusqu'à saturation, et de compléter lors du gâchage par un supplément d'eau pour atteindre la formulation optimum correspondant à  $E/C = 0.7$ .

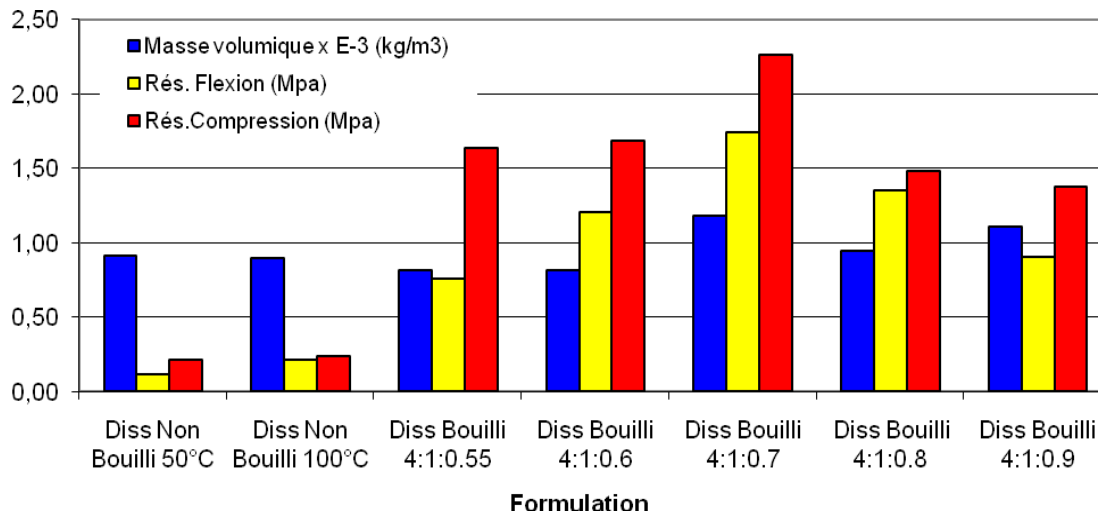
Les plus fortes valeurs des modules d'élasticité dynamique sont obtenues pour les composites fabriquées avec des fibres de diss prémouillées et des fibres de diss enrobées d'huile. Ceci s'explique par la bonne adhésion de ces fibres à la pâte de ciment, ce qui

réduit les vides intragranulaires, et crée une bonne cohésion entre les granulats (fibres de diss) et le liant (pâte de ciment). La bonne compacité du composite offre une grande vitesse de propagation des ondes malgré la légère augmentation de la masse volumique. Les composites de fibres de diss enrobées de bitume n'ont pas donné des modules d'élasticités dynamiques très importants comme ceux enrobées de huile de lin, à cause de la dispersion aléatoire des fibres dans le composite, et la création d'alvéoles entre les grains. Ces alvéoles réduisent alors la vitesse de propagation des ondes, qui influent sur les valeurs des modules d'élasticité.

**5.5 RESISTANCES MECANIQUES**

**5.5.1 Résultats Expérimentaux**

Les résultats des essais de compression et de flexion trouvés sur des éprouvettes 4x4x16 ont été reportés sur la figure 5.11, et ce pour le diss non bouilli et les différentes formulations de diss bouilli.



**Fig 5.11 Essais de Résistances des composites à base de diss non bouilli et bouilli**

Les résultats des essais de compression et de flexion trouvés sur des éprouvettes 4x4x16 cms ont été reportés sur la figure 5.12, et ce pour le diss non bouilli, le diss bouilli et le diss bouilli prémouillé.

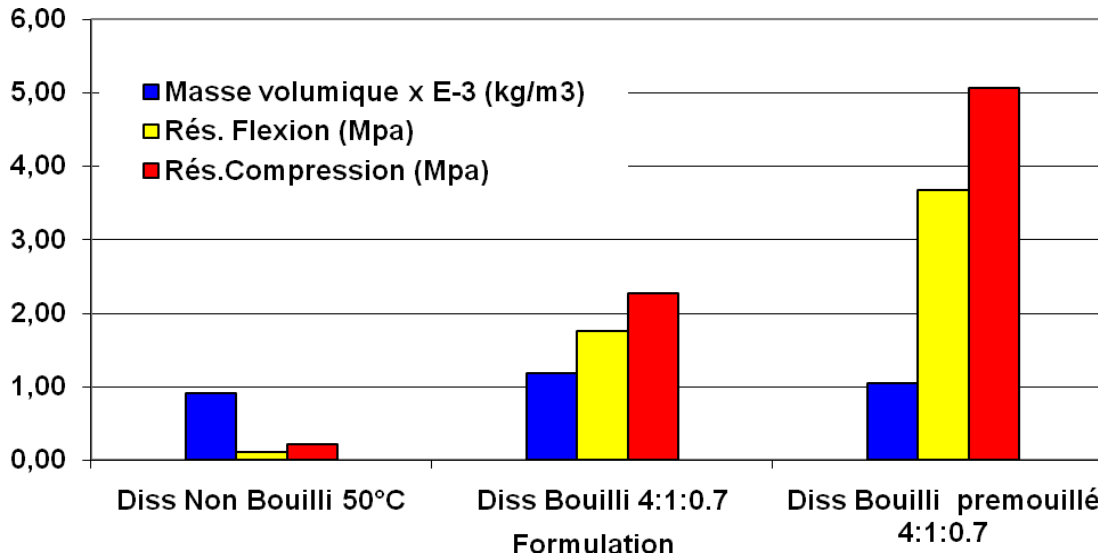


Fig 5.12 Essais de Résistances des composites à base de diss non bouilli et bouilli et pré mouillé

Les résistances des composites de fibres de diss traités par enrobage à l’huile de lin et au bitume, sont représentées sur la figure 5.13.

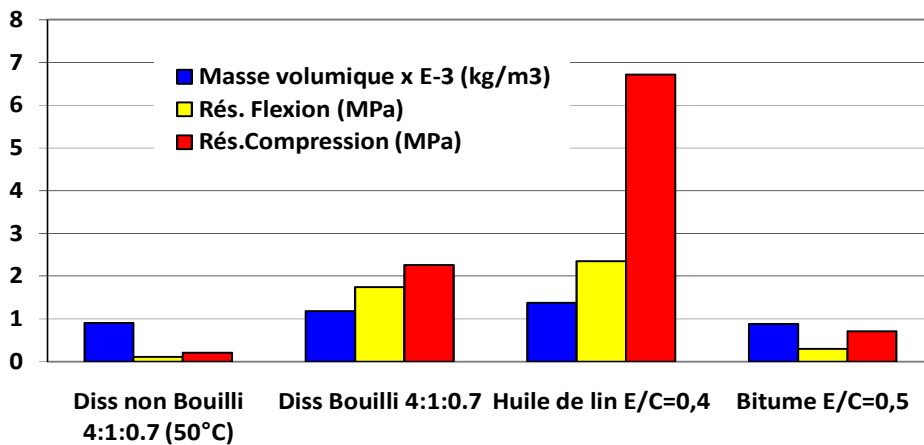


Fig 5.13 Essais de Résistances des composites à base de diss non bouilli et bouilli et diss enrobé de huile de lin et bitume

### **5.5.2 Interprétation de résultats**

Les résistances mécaniques pour de tels matériaux sont les paramètres les plus recherchés dans notre étude, puisque il s'agit de trouver des solutions pour substituer les granulats conventionnels utilisés pour la fabrication des briques ordinaires dans la construction, par des produits en abondance sur tout le pourtour méditerranéen, et renouvelables.

#### **5.5.2.1 Composites de diss non bouilli**

Les résultats des résistances mécaniques des composites à base de diss non bouilli séché à l'étuve à 50 ou 100°C restent très faibles, malgré la présence d'épines qui réellement permettent une bonne adhésion des fibres à la pâte de ciment (figures 5.14 et 5.15). Ce phénomène est certainement lié aux échanges qui peuvent se produire à l'interface matrice-granat et aux réactions d'hydrolyse et de solubilisation de certains composés comme les sucres, les hémicelluloses et les pectines provoquées par le milieu fortement alcalin développé par l'hydratation du ciment. La présence de ces fractions solubles a été également confirmée par les essais d'adsorption en phase vapeur du diss. Au cours de ces derniers une moisissure des fibres de diss non bouilli a été observée au bout de onze jours alors qu'aucun développement n'a été constaté dans les fibres de diss bouilli pendant toute la période de l'essai (figure 5.6). On peut donc penser que ce sont surtout ces fractions hydrosolubles qui entraînent la diminution de la cohésion des matériaux. C'est surtout l'existence de substances inhibitrices dans le composite qui diminuent la cohésion des matériaux pendant toute la période de la cure. L'image au vidéo microscope de la figure 5.16 montre bien le manque de liaison lié au défaut d'hydratation.

La vision des fissures après essais de flexion et de compression des composites de diss bouilli montre que le réaction d'hydratation du ciment n'a pas eu lieu, et le ciment s'est simplement déposé sur les fibres comme de la poussière, ceci a été bien montré sur les photos au vidéo microscope de la figure 5.16.



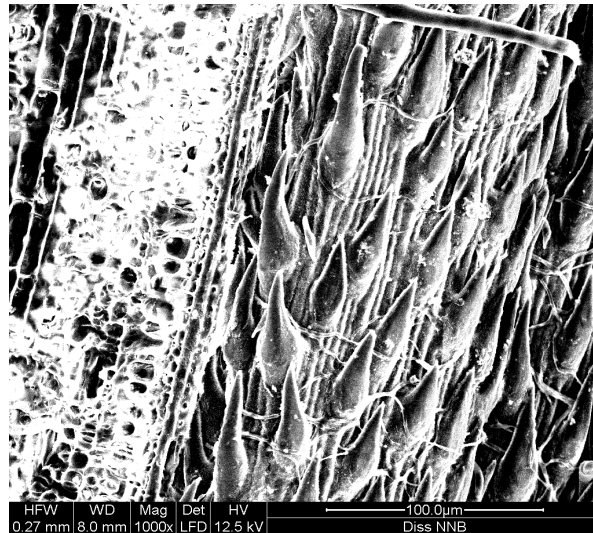


Fig 5.14 Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss non bouilli, agrandissement x 1000

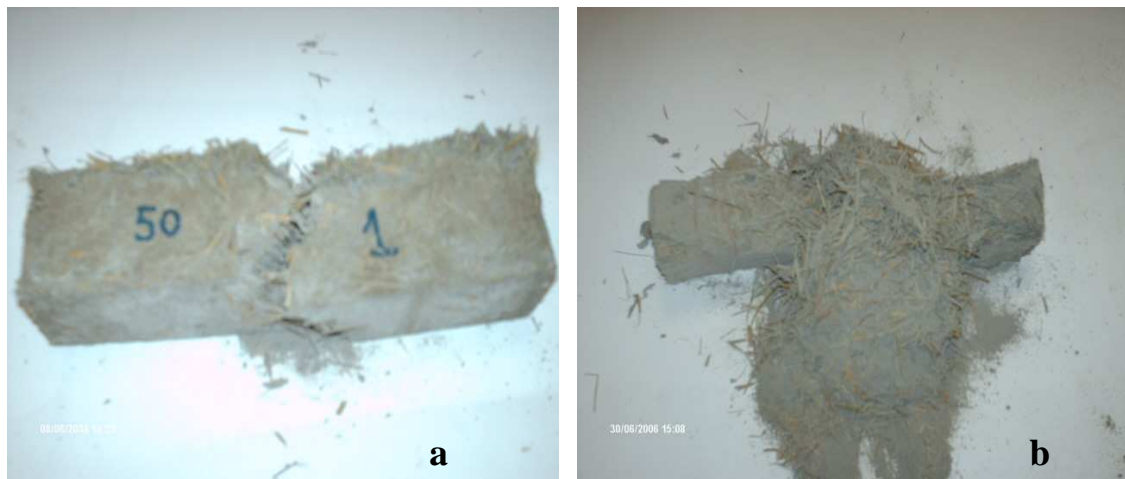


Fig 5.15 Composites de diss non bouilli (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression



Fig 5.16 Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss non bouilli, agrandissements (a) de 25 et (b) de 50.

### 5.5.2.2 Composites de diss bouilli

Les éprouvettes de fibres de diss bouilli ont pu résister à des contraintes de traction par essais de flexion assez considérables, comparées aux composites de fibres naturelles, sans qu'il ait apparition de fissures aux premières charges de rupture. En compression, les ruptures des éprouvettes de diss bouilli n'ont pas manifesté de rupture fragile, les éprouvettes sont restées presque intactes.

Le traitement à l'eau bouillie a bien amélioré les caractéristiques mécaniques des composites alors que la structure de la fibre n'a pas évolué. Les fibres se placent horizontalement dans le composite, ce qui lui offre la capacité de travailler comme renforcement, sans pour autant augmenter les masses volumiques des composites soit 800 à 1200 kg/m<sup>3</sup>.

Le traitement par ébullition du diss permet la réduction des matières solubles responsables du retard de prise et d'incompatibilité avec la pâte de ciment. Ceci a pu être vérifié par les essais de prise sur la pâte de ciment en utilisant d'une part l'eau du réseau, et d'autre part l'eau d'extraction par ébullition. On a pu constater un retard de début prise considérable. Les résultats sont résumés sur le tableau 5.5

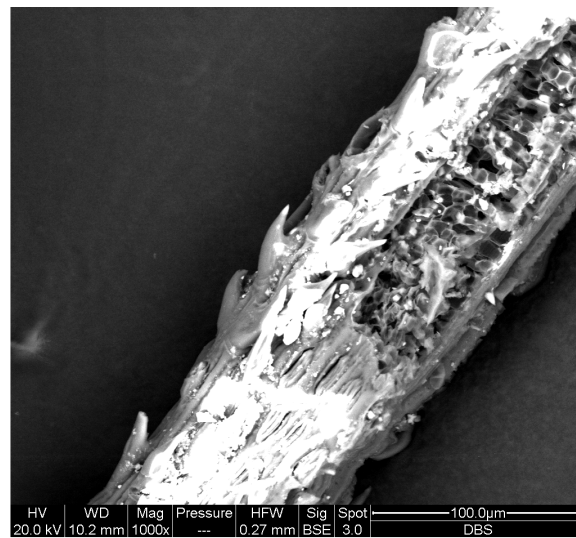
| Echantillon                                      | Début de prise |
|--|----------------|
| Ciment+ Eau du réseau                            | 4H30           |
| Ciment+ Eau d'extraction de l'ébullition du diss | 8H00           |

**Tableau 5.5 : Essais de prise avec différentes eaux de gâchage**

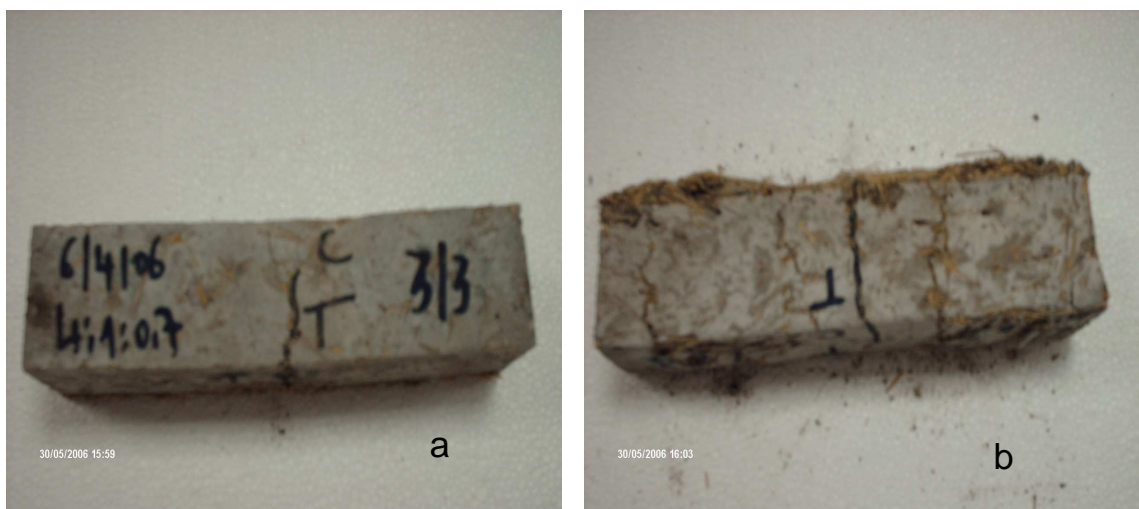
Les fortes résistances ne sont pas dues essentiellement à la structure épineuse des fibres de diss qui permettent aux fibres de bien adhérer à la pâte de ciment, comme on le voit sur l'image prise au MEB de la figure 5.17, mais surtout à la modification de la structure chimique des fractions végétales, notamment par la dégradation des hémicelluloses, en procédant au traitement thermique.

Les résistances ainsi obtenues sont dues au fait que les fibres se placent horizontalement, ce qui leur permet de bien adhérer à la pâte de ciment, et de jouer leur rôle en tant que renforcement. Ceci a été bien vérifié sur toutes les éprouvettes de composites à base de diss bouilli, où les ruptures ne sont pas fragiles, et on voit

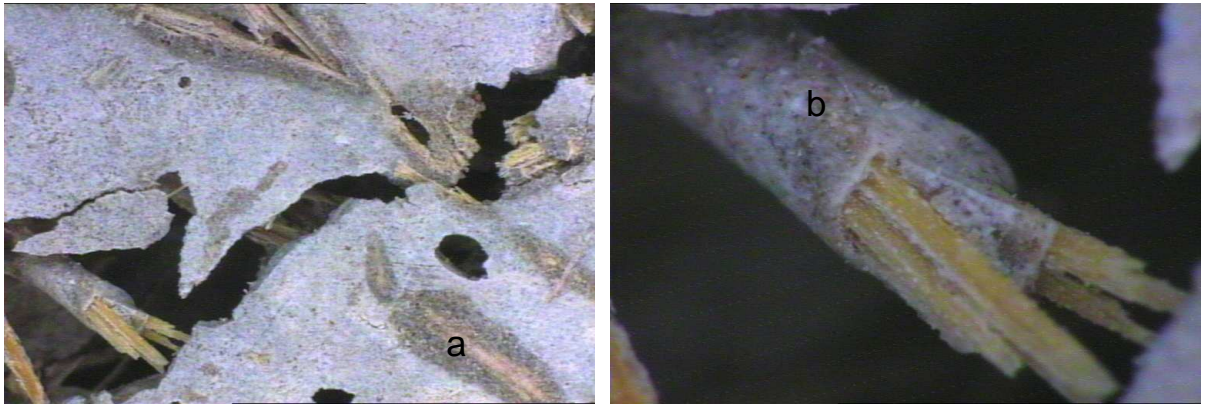
distinctement les zones comprimées et tendues, comme le montre la figure 5.18. Cette augmentation de résistance est due au fait que les fibres de diss examinées au vidéo microscope (figure 5.19) au niveau de la fissure par flexion de la partie tendue sont bien enrobées en paquets par la pâte de ciment, ce qui leur permet de bien résister aux efforts de traction qui leur sont appliqués.



**Fig 5.17 Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss bouilli, agrandissement x 1000**



**Fig 5.18 Composites de diss bouilli (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression**



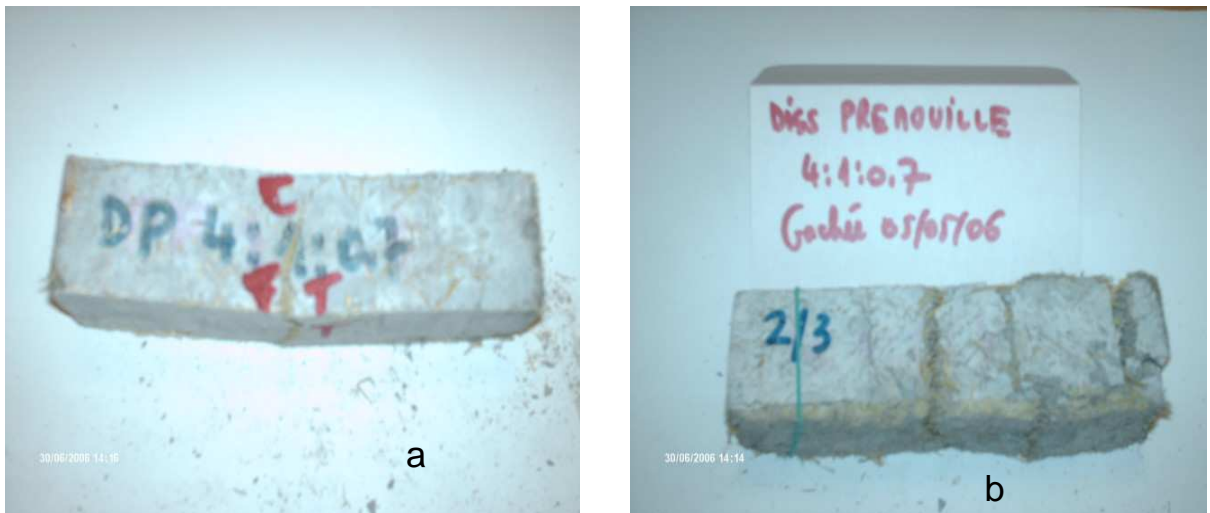
**Fig 5.19 Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli, agrandissements (a) de 50 et (b) de 175**

### 5.5.2.3 Composites de diss pré mouillé

Il a été recommandé par G. Dreux (2002), que lors de l'utilisation des fibres végétales à forte absorption d'eau en tant qu'agrégats, il est nécessaire de les pré mouiller, jusqu'à saturation, et de compléter lors du gâchage par un supplément d'eau pour atteindre la formulation désirée. Pour ce cas de traitement, nous avons adopté les formulations 4 :1 :0.7. Les résistances obtenues pour le rapport Diss/ ciment égal à 4.0 sont très importantes et atteignent un maximum en flexion de l'ordre de 3.7 MPa en traction et 5.1 MPa, en compression. En flexion on n'a pas observé de fissures sous la première charge maximale. Il aura fallu six cycles de chargement pour arriver à la rupture de l'éprouvette en traction par flexion. Lors des essais de flexion on distingue bien la partie tendue et la partie comprimée (voir figure 5.20).

Les fortes résistances obtenues pour le diss pré mouillé sont dues essentiellement à la bonne liaison de la pâte de ciment autour des fibres, comme on le voit nettement sur la photo au vidéo microscope de la figure 5.21.





**Fig 5.20 Composites de diss bouilli prémouillé (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression**



**Fig 5.21 Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli prémouillé, agrandissements (a) de 25 et (b) de 50.**

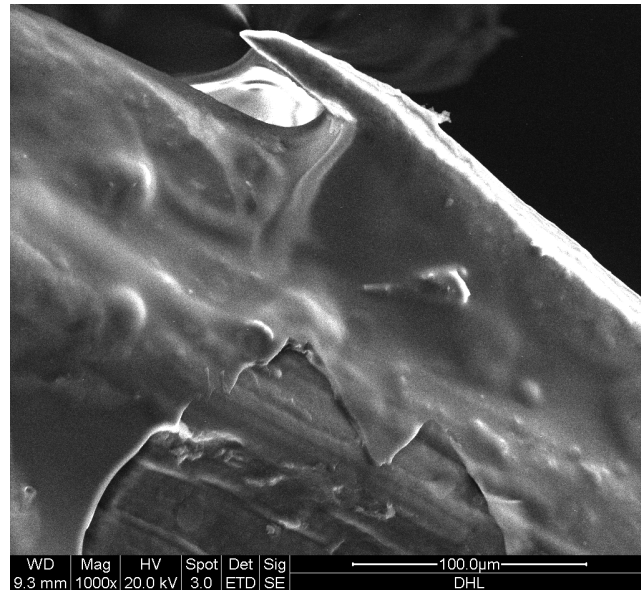
#### 5.5.2.4 Composites de diss enrobé de huile de lin

Pour atténuer les fortes absorptions d'eau des fibres celles-ci ont été traitées avec de l'huile de lin. Le traitement permet d'enrober la fibre tout en ne recouvrant pas les épines (figure 5.22).

Au cours des essais mécaniques, aucune fissure n'a été observée sous la première charge maximale. Il aura fallu six cycles de chargement pour arriver à la rupture de l'éprouvette en traction par flexion. Les fibres de diss enrobées de huile de lin agissent comme des renforcements dans le composite, (figure 5.23).

Les fortes résistances obtenues pour le diss enrobé de huile de lin sont dues essentiellement au maintien de la structure épineuse de la fibre après enrobage, et à la

bonne liaison des la pâte de ciment autour des fibres, comme on le voit nettement sur la photo au vidéo microscope de la figure 5.24.



**Fig 5.22 Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss bouilli, enrobé de huile de lin, agrandissement x 1000**



**Fig 5.23 Composites de diss bouilli enrobé de huile de lin (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression**



**Fig 5.24 Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli enrobé de huile de lin, agrandissements (a) de 50 et (b) de 50.**

#### **5.5.2.5 Composites de diss enrobé de bitume**

Pour diminuer le taux d'absorption des fibres de diss, nous avons également procédé à un enrobage avec du bitume. Dans ce cas l'observation par microscopie électronique à balayage a permis de constater que ce type de traitement modifie l'état de surface des fibres, elles sont lisses et les épines n'apparaissent plus (figure 5.25).

Les résistances obtenues sont très faibles en traction par flexion en raison de la diminution de l'adhérence consécutive à la morphologie des fibres traitées au bitume mais aussi en raison probablement de la disposition aléatoire des fibres enrobées dans la matrice cimentaire, ce qui ne laisse pas les fibres de résister aux efforts de traction auxquelles elles sont sollicitées. Les résistances à la compression des composites sont également faibles à cause de la faible résistance à la tension latérale des fibres.



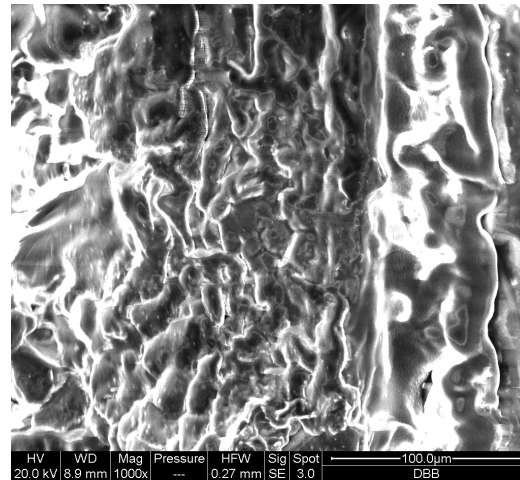


Fig 5.25 Images au Microscope Electronique a Balayage d'une fibre de diss bouilli, enrobé de bitume, agrandissement x 1000



Fig 5.26 Composites de diss bouilli enrobé de bitume (a) après essai de flexion, (b) après essai de compression

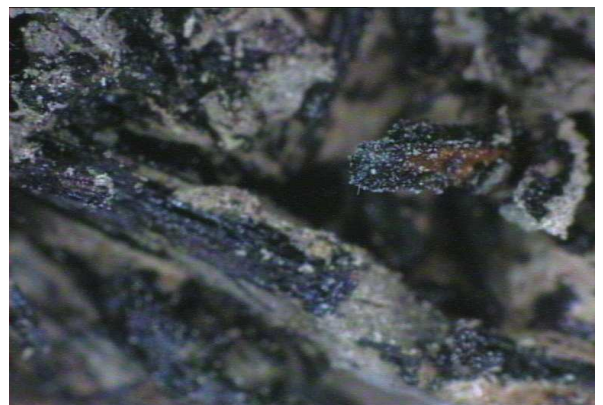


Fig 5.27 Comportement des fibres au niveau des fissures de rupture des composites de fibres de diss bouilli enrobé de bitume, agrandissements (a) de 25 et (b) de 50.



### 5.5.2.6 Comparaison entre les résistances à la compression sur la résistance à la flexion

On a constaté pour toutes les formulations adoptées des composites, des rapports de résistances à la compression sur les résistances à la flexion qui varient de 1.29 à 2.85, comme on le voit sur la figure 5.28. Ces valeurs paraissent très importantes par rapport aux mortiers ordinaires où ce rapport est de l'ordre de 10. Ceci confirme bien la bonne résistance des composites de diss à la flexion, qui est une caractéristique importante pour des éléments structuraux ou de remplissages soumis à des sollicitations horizontales comme le séisme et le vent. La capacité des éprouvettes de supporter des charges au-delà de leur limite élastique, montre également leur capacité d'absorber de l'énergie au-delà des premières charges de rupture.

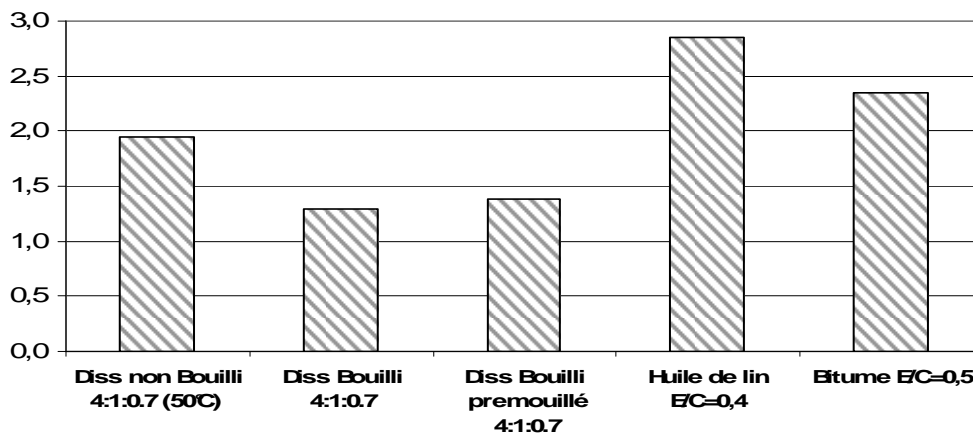


Fig 5.28 Rapports des résistances à la compression sur les résistances à la flexion

5.6 VARIATIONS DIMENSIONNELLES

5.6.1 Variations dimensionnelles de séchage

Les valeurs des pertes de masse au séchage des éprouvettes de composites placées à l'air libre sont reportées pour tous les composites traités ou non sur la figure 5.29

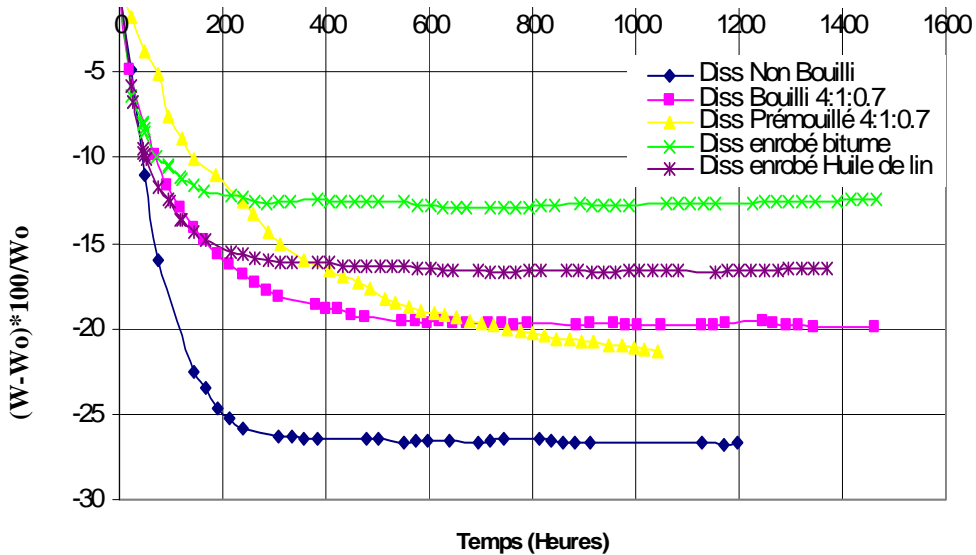


Fig 5.29 Pourcentage de pertes de masses de séchage des différents composites

Les valeurs des variations dimensionnelles de séchage sont reportées pour tous les composites traités ou non sur la figure 5.30

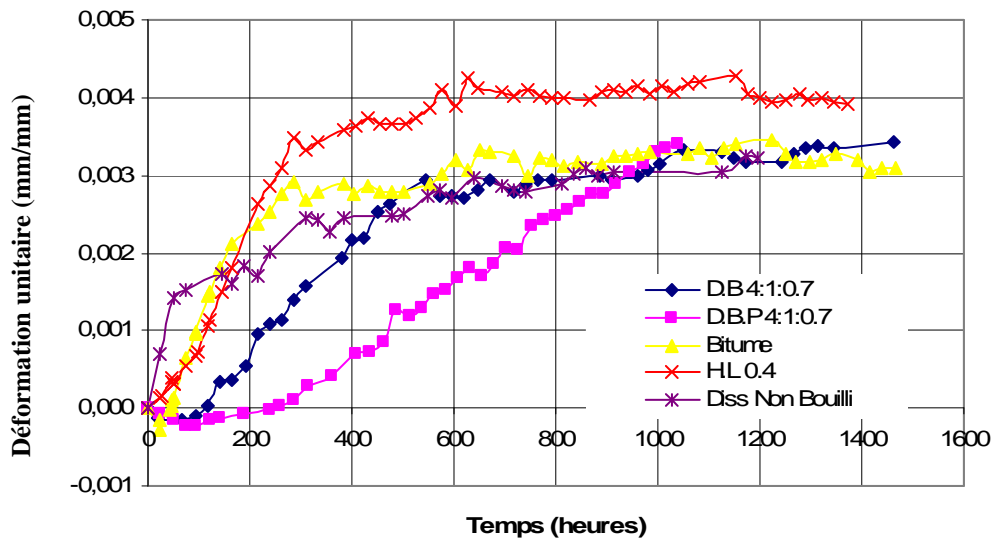


Fig 5.30 Retrait de séchage des différents composites

### 5.6.2 Variations dimensionnelles extrêmes

Les déformations qui se manifestent dès le gâchage, suite au gradient d'humidité, conditionnent la durabilité de ce matériau. De même, lors de variations climatiques, les volumes des matériaux de construction évoluent. Ces changements de volume, qui se manifestent par des contraintes et des gonflements, créent des contraintes qui peuvent être à l'origine de la fissuration et même de la ruine de la structure. Ces variations dimensionnelles sont en étroite relation avec la structure poreuse. En effet, c'est la quantité d'eau contenue dans les pores, fonction des conditions climatiques, qui peut en partie engendrer des déformations réversibles de la matrice. L'évaluation de ces déformations est, par conséquent, d'une importance prépondérante pour l'étude de leur durabilité et de leur aptitude au fonctionnement à long terme.

#### 5.6.2.1 Résultats Expérimentaux

Les variations dimensionnelles extrêmes permettent de déterminer les déformations entre les phases extrêmes de composites complètement séchés et des composites saturés d'eau, les résultats des variations dimensionnelles extrêmes sont représentés sur la figure 5.31.

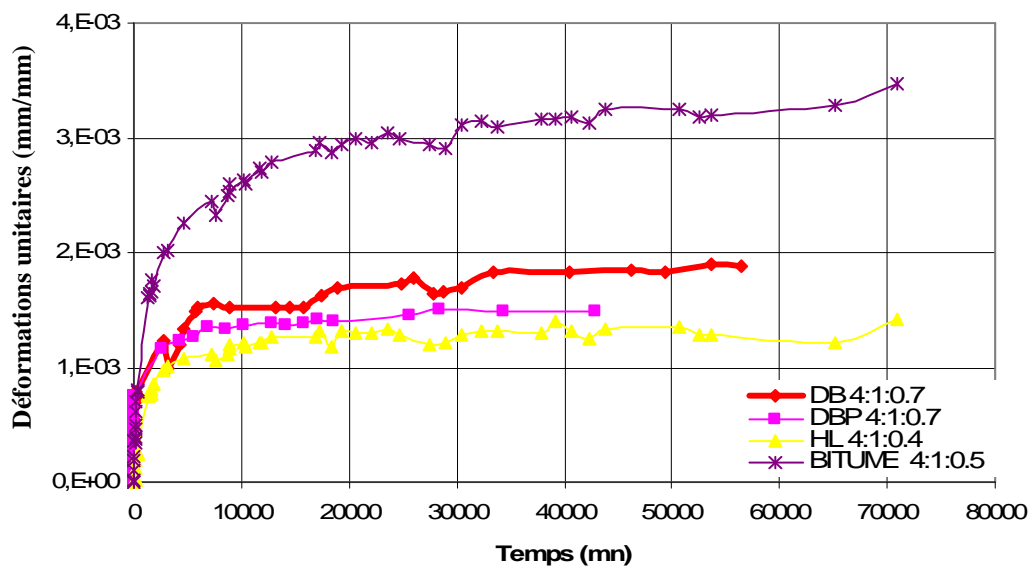


Fig 5.31 Comparaison des variations dimensionnelles extrêmes

On note que pour les éprouvettes de diss non bouilli, les variations dimensionnelles extrêmes n'ont pas pu être mesurées, vu que les éprouvettes ont rompu après quelques minutes d'immersion dans l'eau.

### 5.6.2.1 Interprétation de résultats

Si on compare les valeurs des déformations des éprouvettes en variations dimensionnelles extrêmes, on que les valeurs les plus basses des déformations sont enregistrées pour les composites dont les fibres ont été enrobées de huile de lin et prémouillées, celles finalement qui donnent les meilleures résistances en flexion et en compression. Les valeurs des déformations restent acceptables, malgré qu'elles restent supérieures aux composites à base de granulats légers de bois, qui sont fixées à 1mm/m. Les valeurs de diss bouilli sont égales à  $1.88 \cdot 10^{-3}$  mm/mm, sont acceptables comparées aux composites de fibres de diss enrobées de bitume, où les valeurs atteignent  $3.48 \cdot 10^{-3}$  mm/mm. Les valeurs des déformations obtenues sont en concordance avec les résistances en flexion et de compression obtenues. Les comparaisons des déformations en conditions extrêmes et les résistances sont représentées sur la figure 5.32

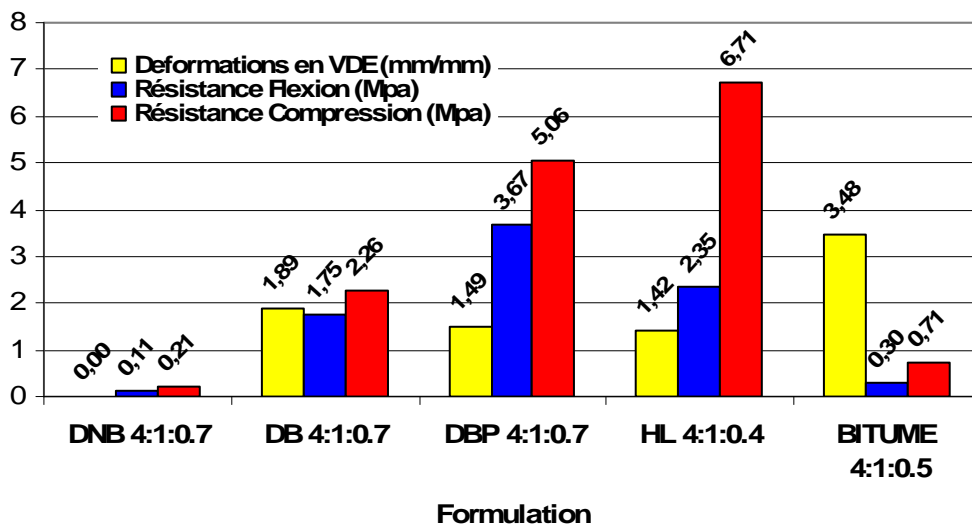


Fig 5.32 Comparaison des déformations en cas extrêmes avec les résistances

Les absorptions par immersion des éprouvettes de composites ont été plus faibles pour les composites enrobées de huile de lin et de bitume, elles sont moyennes pour les composites de diss prémouillées et plus fortes pour le diss bouilli. Pour le diss non bouilli, les composites n'ont pas pu résister à l'absorption d'eau, les éprouvettes ont cédé aux premières absorptions. Les absorptions d'eau sont fonction de la nature des fibres, plus les fibres sont imperméables plus les composites absorbent moins d'eau. Les

valeurs des différentes absorptions en fonction du temps sont représentées sur la figure 5.33.

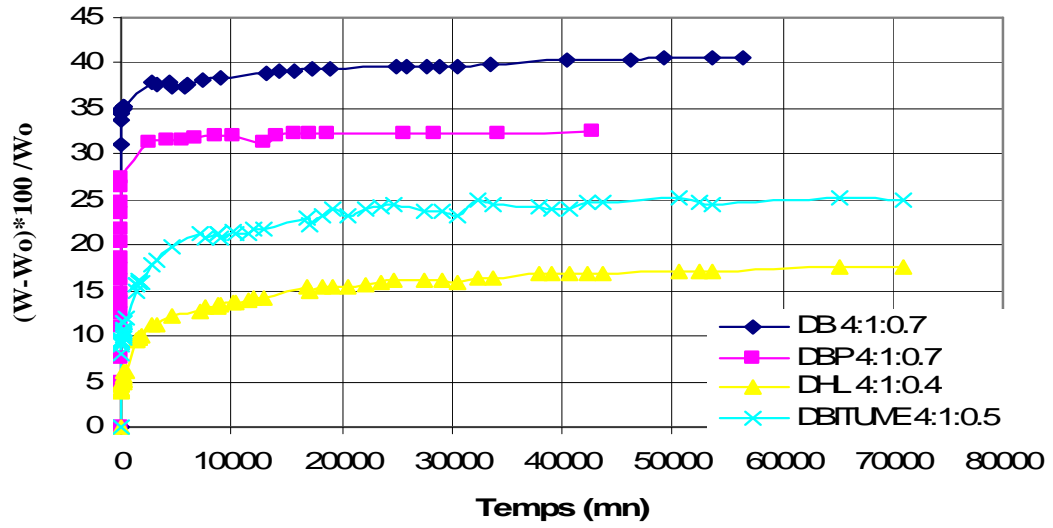


Fig 5.33 Absorption par immersion pour essais VDE

5.7 ESSAIS DE CAPILLARITE

5.7.1 Résultats expérimentaux

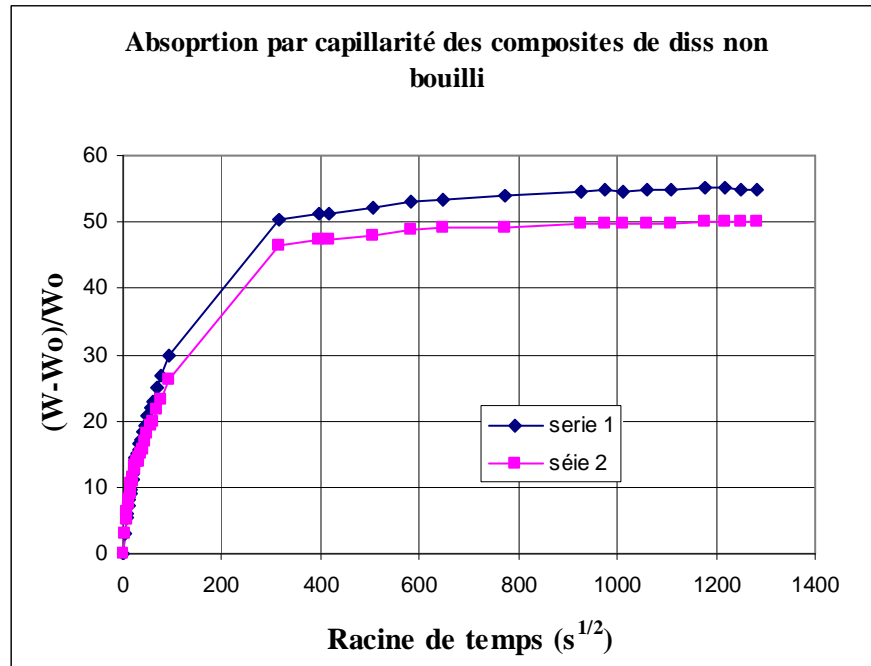


Fig 5.34 Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss non bouilli

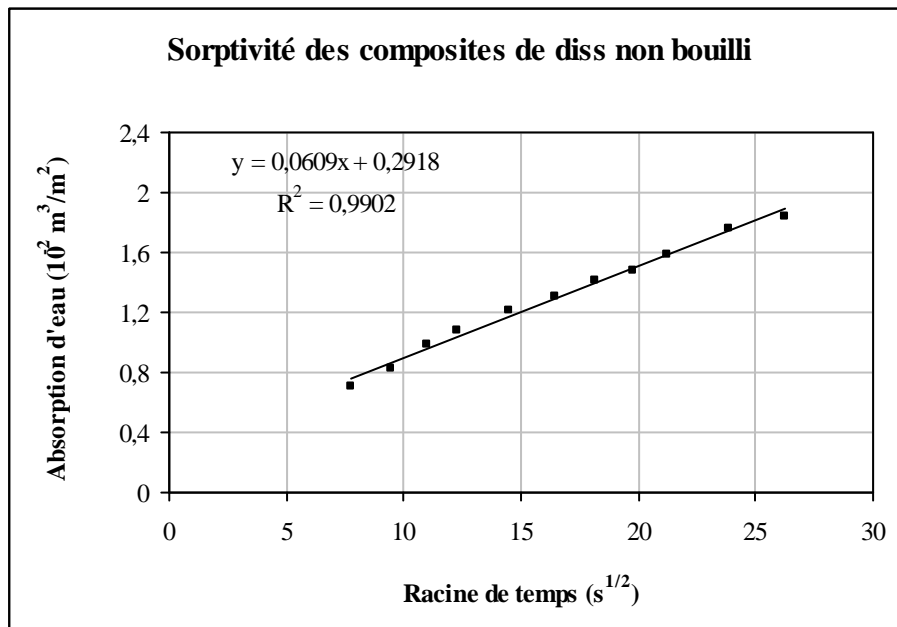


Fig 5.35 Sorptivité des composites de diss non bouilli

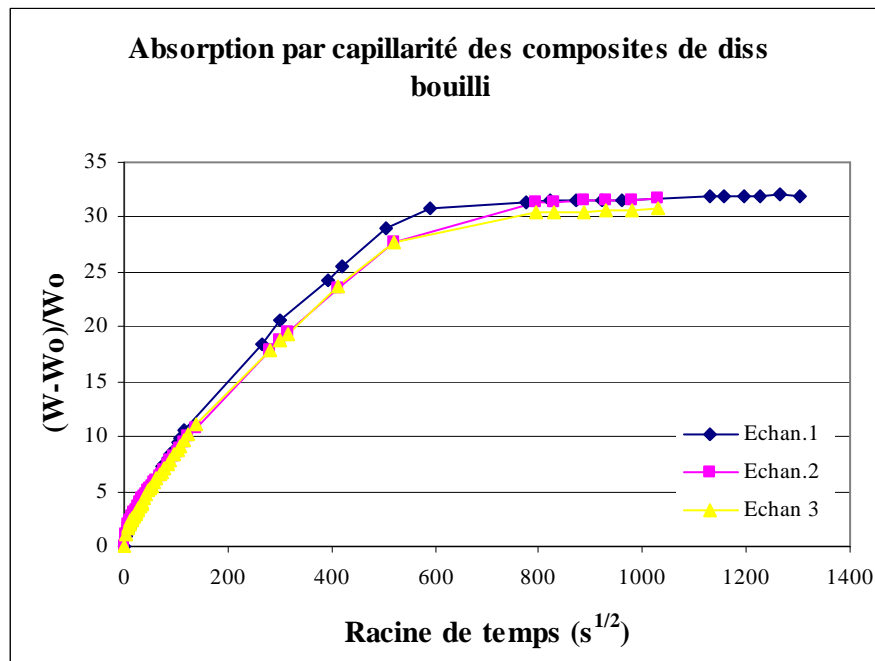


Fig 5.36 Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss bouilli

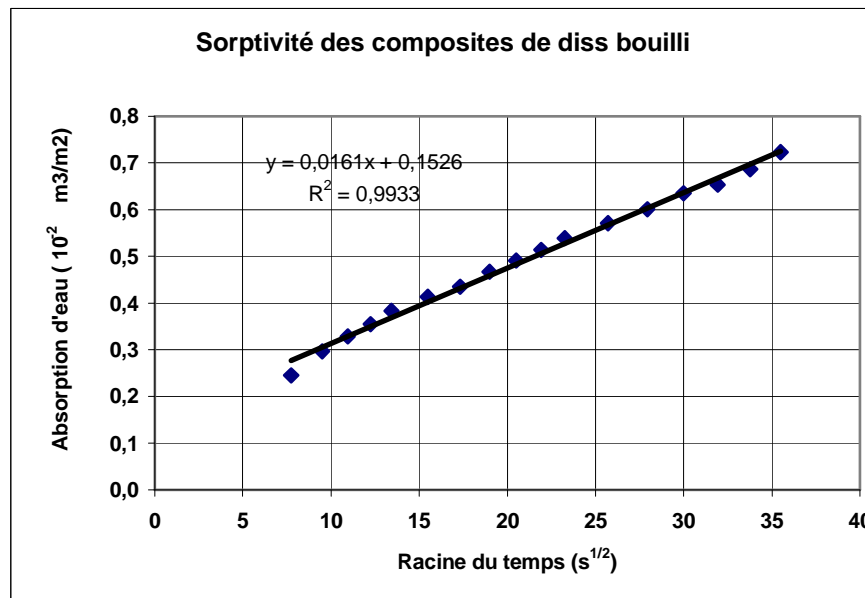


Fig 5.37 Sorptivité des composites de diss bouilli

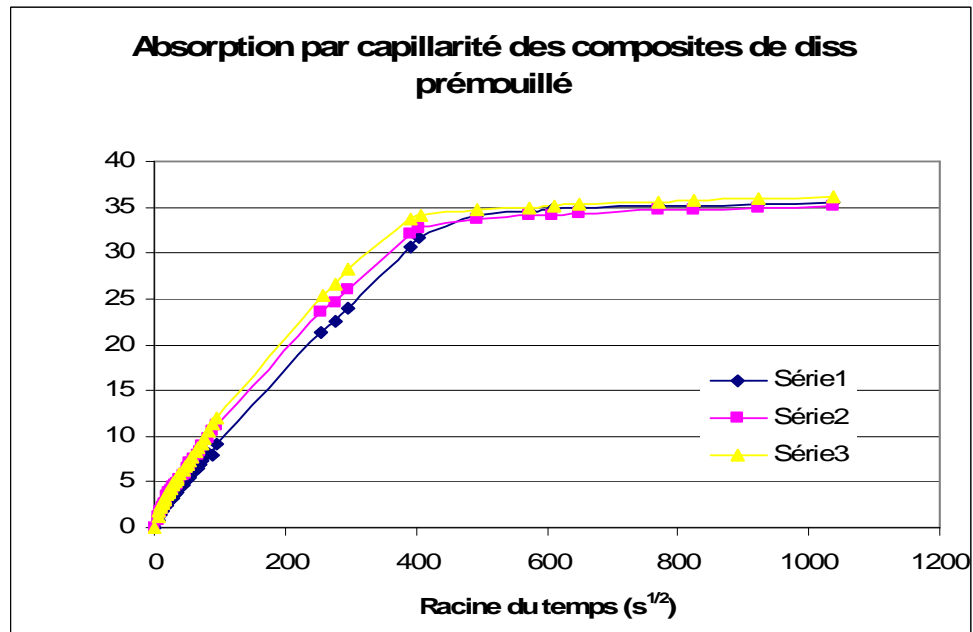


Fig 5.38 Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss pré mouillé

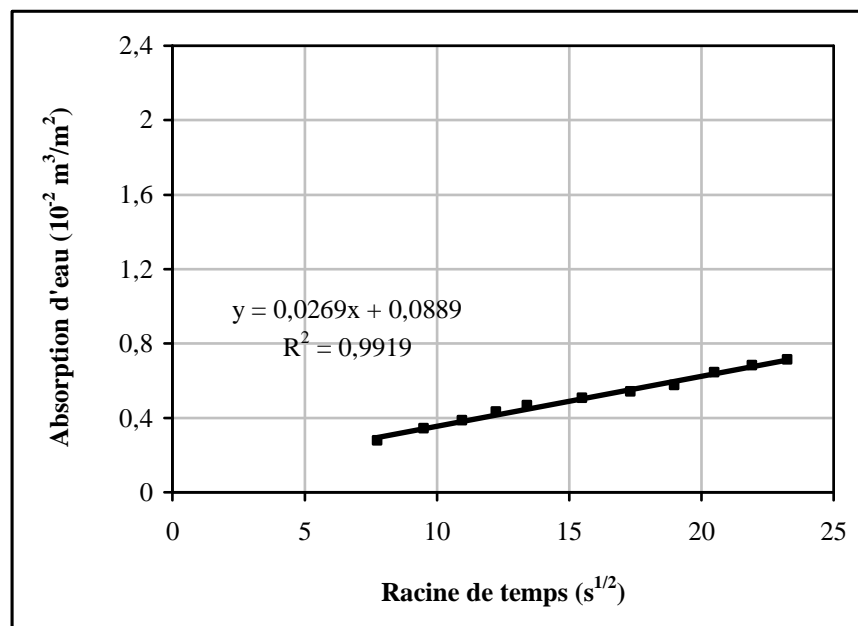


Fig 5.39 Sorptivité des composites de diss pré mouillé



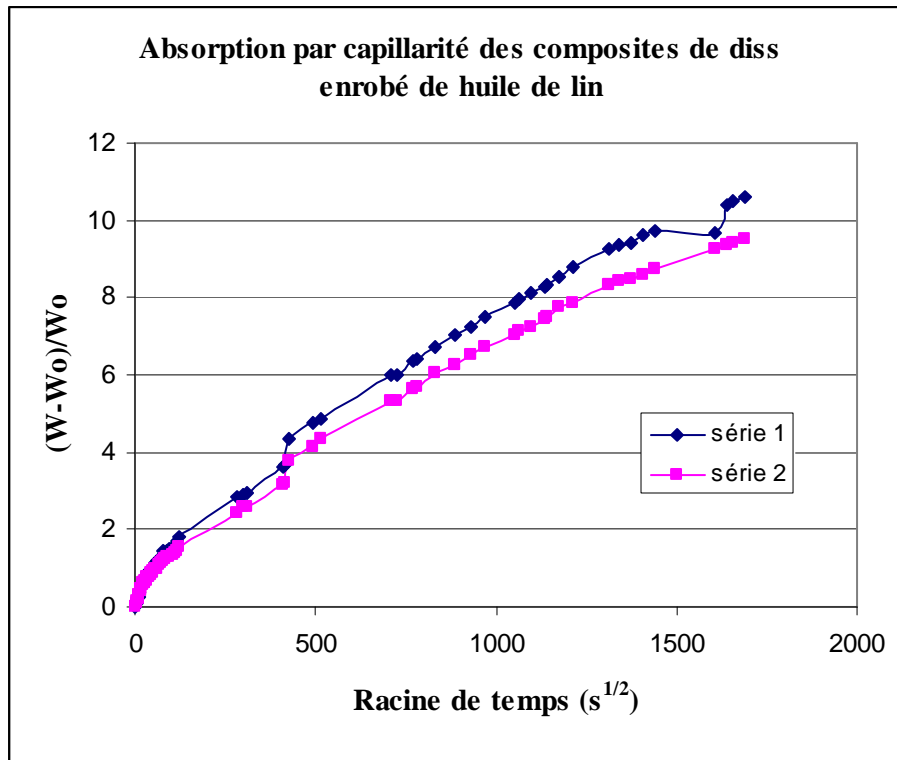


Fig 5.40 Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss enrobé de huile de lin

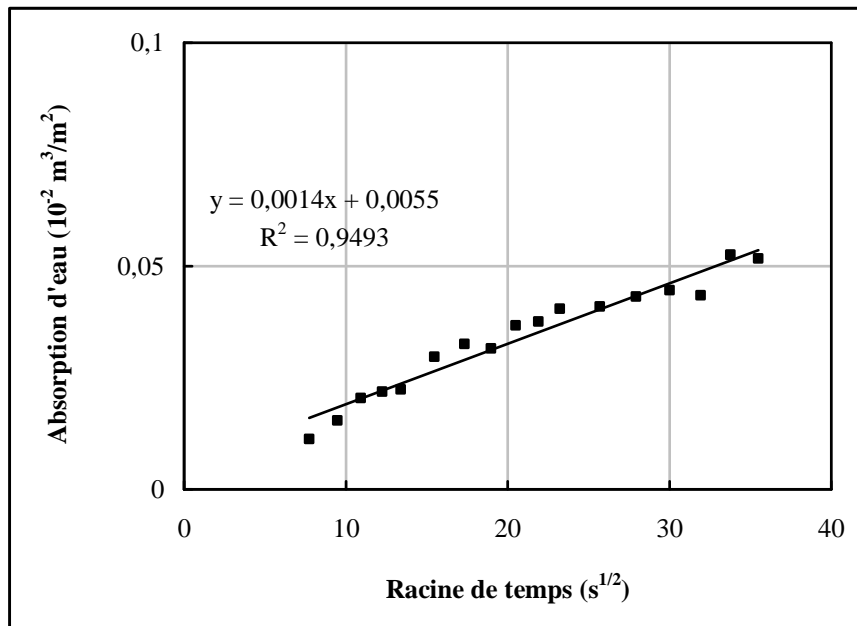


Fig 5.41 Sorptivité des composites de diss enrobé de huile de lin

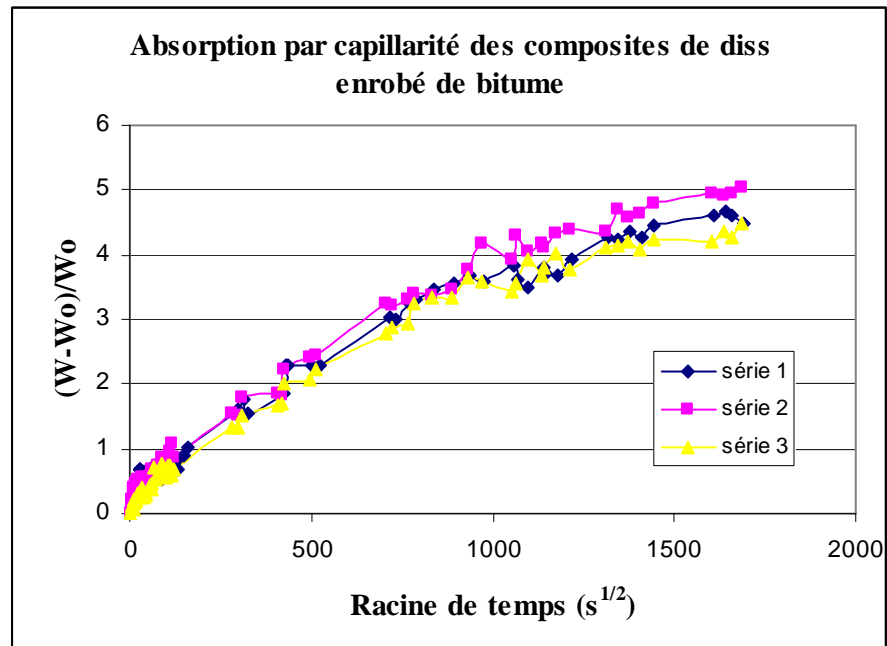


Fig 5.42 Absorption en phase liquide par capillarité des composites de diss enrobé de bitume

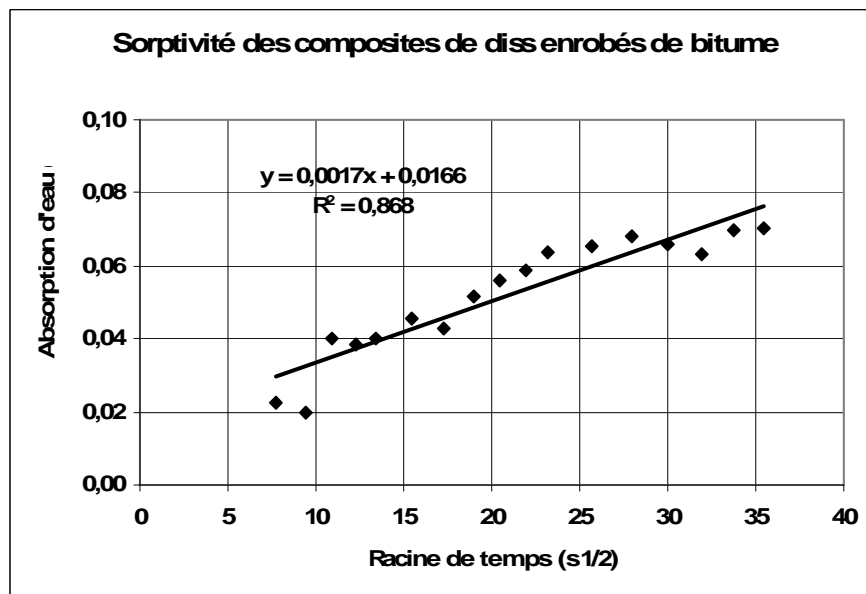


Fig 5.43 Sorptivité des composites de diss enrobé de bitume

5.7.2 Interprétation de résultats

5.7.2.1 Taux d'absorption

Les essais d'imbibition capillaire ont été réalisés sur des éprouvettes prismatiques de dimensions 40 x 40 x 160 mm. Le taux d'absorption volumique d'eau par unité de surface  $i$  ( $\text{mm}^3/\text{mm}^2$ ), à un instant  $t$  donné, a été déterminé, durant la première phase d'absorption, suivant l'expression (5.1) ci-dessous :

$$i = \frac{M(t) - M(t_0)}{\rho_w \cdot A} \tag{5.1}$$

avec

$M(t)$  : Masse de l'échantillon humide à un instant donné (kg)

$M(t_0)$  : Masse initiale de l'échantillon sec (kg)

$\rho_w$  : Masse volumique de l'eau liquide ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$A$  : Section absorbante de l'échantillon ( $\text{m}^2$ )

L'évolution du taux d'absorption volumique par unité de surface a été suivie jusqu'à stabilisation de la masse de l'échantillon.

5.7.2.2 Influence des différents traitements sur l'absorption initiale

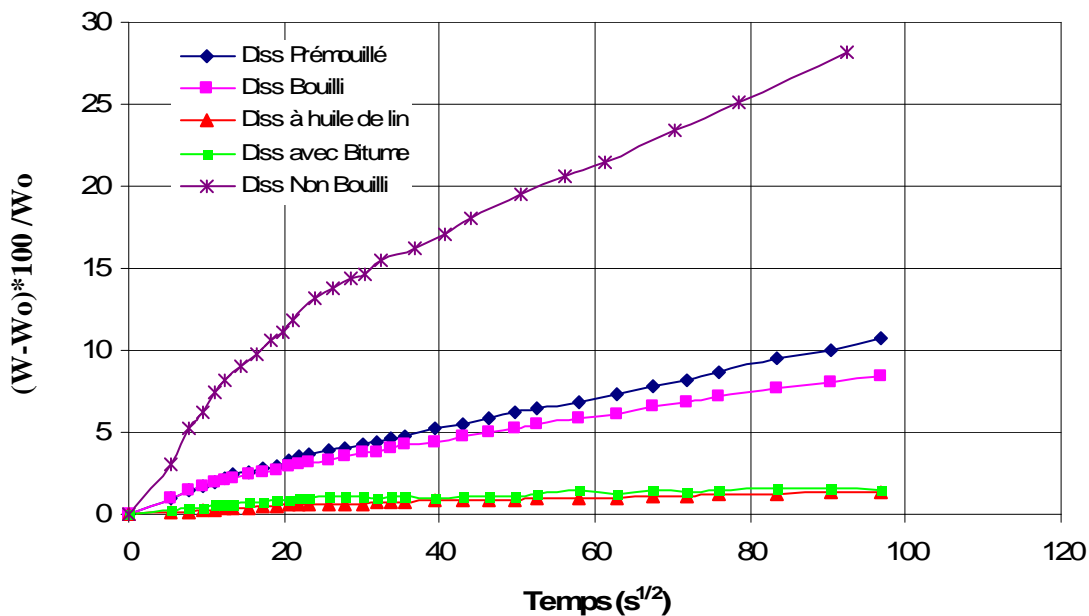


Figure 5.44 Comparaison des cinétiques initiales d'absorption

On remarque d'après la figure 5.40 que la cinétique d'absorption est plus importante pour le diss bouilli, ceci est dû au fait que la pâte de ciment ne réagit pas avec les fibres de diss non bouilli, et que dans ce cas le ciment se dépose comme une poussière sur les fibres de diss. Dans ce cas les fibres absorbent comme étant seules, et le ciment ne pourra ralentir l'absorption.

Dans le cas de fibres de diss bouillies et de diss prémouillé, la pâte de ciment adhère bien aux fibres, et l'absorption est ralentie par le complexe ciment-fibres, ceci explique bien les qualités mécaniques, physiques et hydriques obtenus par des composites traités thermiquement ou par prémouillage.

Les faibles absorptions par capillarité sont obtenues par les composites dont les fibres sont enrobés par des matériaux hydrofuges, qui empêchent l'eau d'accéder aux fibres.

Ces trois catégories de composites montrent, que même après durcissement, les fibres continuent d'absorber l'eau qu'ils ont perdu pendant le séchage à l'étuve avant le début de l'essai.

### 5.7.2.3 Influence des différents traitements sur l'absorption à saturation et la sorptivité

Les résultats de l'absorption à saturation et la sorptivité pour les différents traitements sont représentés sur le tableau 5.1

| Type de composite   | % Absorption à saturation<br>( $(W-W_0)*100/W_0$ ) | Sorptivité $10^{-3}$ ( $\text{mm}^3/\text{mm}^2$ ) |
|---------------------|--|--|
| Diss Non Bouilli    | 52.55  | 0.61   |
| Diss Bouilli        | 31.47  | 0.16   |
| Diss Prémouillé     | 35.58  | 0.27   |
| Diss à Huile de lin | 10.78  | 0.014  |
| Diss à Bitume       | 4.67   | 0.017  |

**Tableau 5.6 Résultats des absorptions et de la sorptivité par capillarité**

#### 5.7.2.4 Comparaison entre l'absorption des composites par capillarité et par immersion dans l'eau

| Type de composite   | % Absorption à saturation par capillarité<br>$(W-W_0)*100/W_0$ | % Absorption à saturation par immersion dans l'eau<br>$(W-W_0)*100/W_0$ |
|---------------------|--|---|
| Diss Non Bouilli    | 52.55  | imprenable  |
| Diss Bouilli        | 31.47  | 40.62   |
| Diss Prémouillé     | 35.58  | 34.42   |
| Diss à Huile de lin | 10.78  | 17.52   |
| Diss à Bitume       | 4.68   | 25.06   |

**Tableau 5.7 Comparaison des absorptions par capillarité et par immersion**

Les essais d'absorption par immersion dépendent généralement de la nature des fibres, plus les fibres constituant les composites sont imperméables, plus les absorptions sont faibles. Par contre les absorptions de ces mêmes composites en capillarité ne dépendent pas des fibres, mais de l'interaction granulats pâte de ciment et la disposition des granulats dans la matrice. On remarque que les plus faibles valeurs des absorptions par capillarité sont enregistrées pour les composites de fibres de diss enrobée de bitume, ceci à cause des alvéoles composant le composite, qui ne laissent pas passer l'eau rapidement. Les valeurs extrêmes sont enregistrées pour le diss non bouilli, à cause de la mauvaise adhérence des fibres à la pâte de ciment, ceci montre que l'eau est absorbée par les fibres seules. Par contre pour le diss bouilli et le diss prémouillé, les valeurs sont moyennes, à cause de la pâte de ciment qui adhère bien aux fibres, qui réduisent ainsi les valeurs des pourcentages d'absorption.

Pour les composites formés de fibres enrobées de huile de lin, la bonne adhérence des fibres à la pâte de ciment permet au composite d'absorber des quantités d'eau plus importantes que les composites dont les fibres enrobées de bitume. Cette cohésion évite la formation d'alvéoles qui empêchent l'eau de passer d'une fibre à une autre.

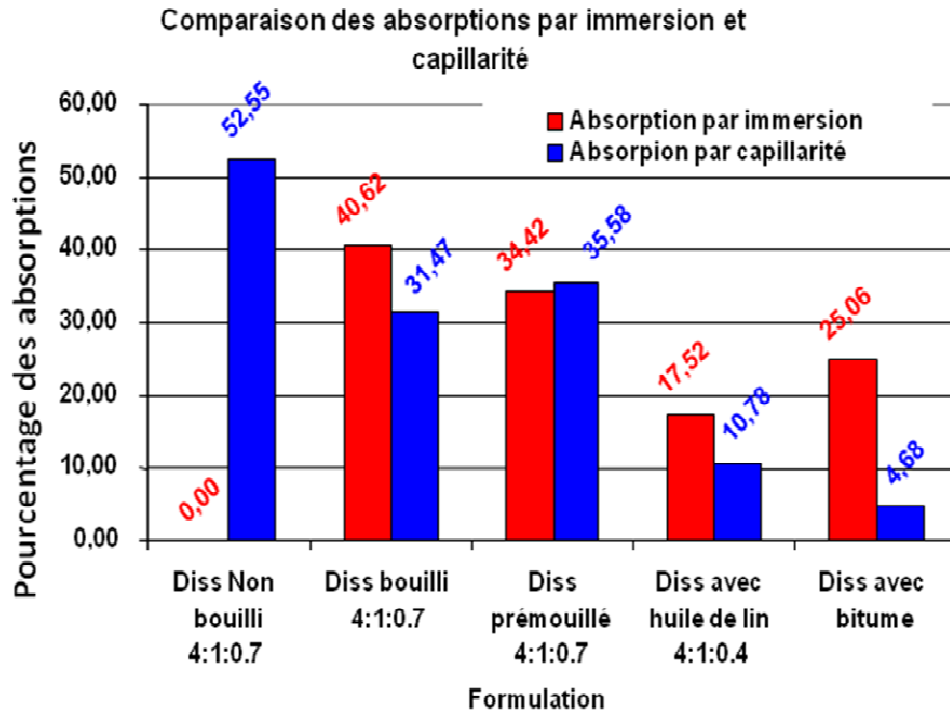


Figure 5.45 Comparaison des absorptions par capillarité ou par immersion dans l'eau

## 5.8 ESSAIS DE CONDUCTIBILITE THERMIQUE

### 5.8.1 Résultats expérimentaux

La connaissance du comportement thermique des composites ciment-fibres de diss nécessite la détermination des différents paramètres thermiques : Conductivité, diffusivité, effusivité thermiques et capacité calorifique. Rappelons que les impératifs qui ont conduit au choix de cette méthode expérimentale sont doubles, d'une part, la technique « TPS : Transient Plane Source » est relativement simple d'utilisation et présente une précision satisfaisante et, d'autre part, il a été confirmé qu'elle ne perturbe pas la distribution de l'humidité dans les milieux poreux étudiés.

Les valeurs des paramètres thermiques des matériaux pour différentes compositions sont données sur le tableau 5.8

| Formulation           | $\rho$ (Kg.m <sup>-3</sup> ) | Essai N° | conductivité $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Effusivité b (Jm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup> ) | Diffusivité a (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ) | Chaleur massique C (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------|------------------------------|----------|--|--|--|---|
| D. Bouilli 4:1:0.7    | 1184                         | Essai 1  | 0,538  | 716,90   | 5,67 10 <sup>-7</sup>                            | 806,50  |
|                       |                              | Essai 2  | 0,510  | 723,00   | 5,04 10 <sup>-7</sup>                            | 860,44  |
|                       |                              | Essai 3  | 0,484  | 763,60   | 4,02 10 <sup>-7</sup>                            | 1016,90   |
| D. Prémouillé 4:1:0.7 | 1041                         | Essai 1  | 0,398  | 623,00   | 4,1 10 <sup>-7</sup>                             | 935,00  |
|                       |                              | Essai 2  | 0,439  | 649,00   | 4,58 10 <sup>-7</sup>                            | 921,00  |
|                       |                              | Essai 3  | 0,408  | 603,80   | 4,57 10 <sup>-7</sup>                            | 858,50  |
| Huile de Lin 4:1:0.7  | 1380                         | Essai 1  | 0,552  | 790,40   | 4,89 10 <sup>-7</sup>                            | 818,00  |
|                       |                              | Essai 2  | 0,586  | 789,40   | 5,51 10 <sup>-7</sup>                            | 770,50  |
|                       |                              | Essai 3  | 0,545  | 751,50   | 5,27 10 <sup>-7</sup>                            | 749,90  |

Tableau 5.8 Résultats des paramètres thermiques des composites

Les essais n'ont pas pu être effectués pour les composites à base de bitume, vu la difficulté d'avoir une surface lisse.

Les valeurs moyennes des conductibilités thermiques sont représentées sur la tableau 5.9

| Formulation           | $\rho$ (Kg.m <sup>-3</sup> ) | Essai N° | conductivité $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Moyenne |
|-----------------------|------------------------------|----------|--|---------|
| D. Bouilli 4:1:0.7    | 1184                         | Essai 1  | 0,538  | 0,51    |
|                       |                              | Essai 2  | 0,510  |         |
|                       |                              | Essai 3  | 0,484  |         |
| D. Prémouillé 4:1:0.7 | 1041                         | Essai 1  | 0,398  | 0,42    |
|                       |                              | Essai 2  | 0,439  |         |
|                       |                              | Essai 3  | 0,408  |         |
| Huile de Lin 4:1:0.7  | 1380                         | Essai 1  | 0,552  | 0,56    |
|                       |                              | Essai 2  | 0,586  |         |
|                       |                              | Essai 3  | 0,545  |         |

Tableau 5.9 Moyenne des conductibilités thermiques des composites

### 5.8.2 Interprétation de résultats

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert de chaleur par conduction.. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température. Les valeurs des conductibilités thermiques varient entre 0.42 et 0.56, elles sont du même ordre que la conductibilité thermique du bois qui est de l'ordre de 0.36.

La comparaison des composites à base de diss avec d'autres matériaux de constructions, confirme bien l'utilisation des ces matériaux comme de bons isolants thermiques.

Les comparaisons des composites à base de diss sont représentés sur le tableau 5.10

| Matériau                                 | Moyenne conductivité<br>$\lambda$ ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) |
|--|---|
| D. Bouilli 4:1:0.7                       | 0,51  |
| D. Prémouillé 4:1:0.7                    | 0,42  |
| Huile de Lin 4:1:0.7                     | 0,56  |
| Bois de pin (parallèle aux fibres)       | 0.36  |
| Bois de pin (perpendiculaire aux fibres) | 0.15  |
| Brique de terre cuite                    | 0.3 à 0.96  |
| Béton                                    | 1.0 à 2.1   |
| Mortier de chaux                         | 0.87  |
| Terre sèche                              | 0.75  |
| Roseau en panneaux                       | 0.056   |
| Laine                                    | 0.05  |
| Liège                                    | 0,04 à 0,05   |
| Laine de verre                           | 0,04  |
| Polystyrène expansé                      | 0,03  |

**Tableau 5.10 Quelques valeurs des conductibilités thermiques des certains matériaux**



### 5.9 INFLUENCE DU POURCENTAGE DE FIBRES SUR LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Les essais de résistances mécaniques sur les composites dont le rapport Diss/ciment pris égal à 4.0 ont montré que la rupture n'a pu avoir qu'après cinq voire même parfois six chargements-déchargements. Ceci est dû à la présence des fibres de diss qui augmentent la ductilité du matériau en agissant comme des armatures, comme l'ont montré les images 5.18, 5.20 et 5.23 , où on observe clairement la partie comprimée et la partie tendue .

Afin de confirmer le rôle attribué aux fibres de diss, nous avons prévu quelques essais sur des composites dont le rapport Diss/Ciment égal à 5.0.

#### 5.9.1 Essais de résistances mécaniques

Le choix de la formulation optimum a été basé sur les essais de résistance. Etant donné que le pourcentage de fibres a augmenté, ceci nous conduit à une formulation optimum autre que celle adoptée pour le rapport Diss/Ciment égal à 4.0.

Les résultats des résistances mécaniques pour le rapport Diss/Ciment égal à 5.0 sont représentés sur la figure 5.46.

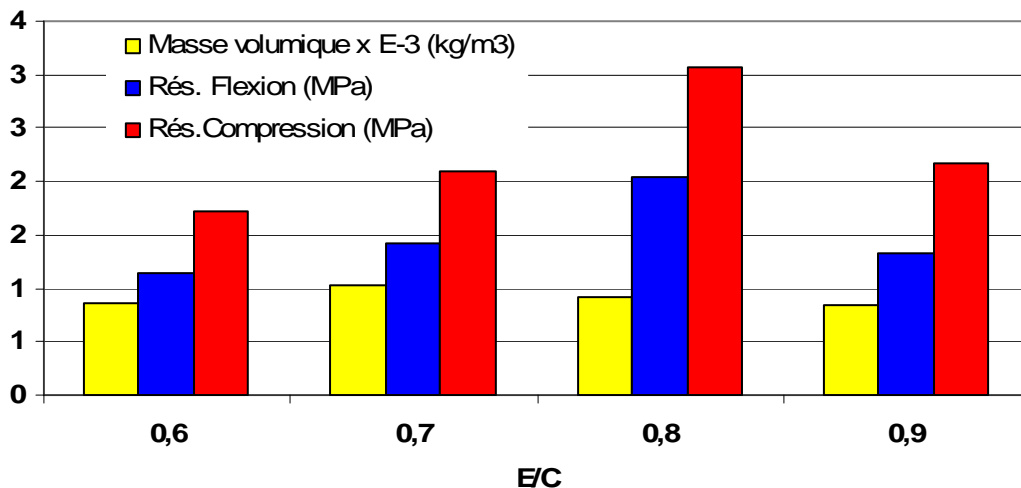
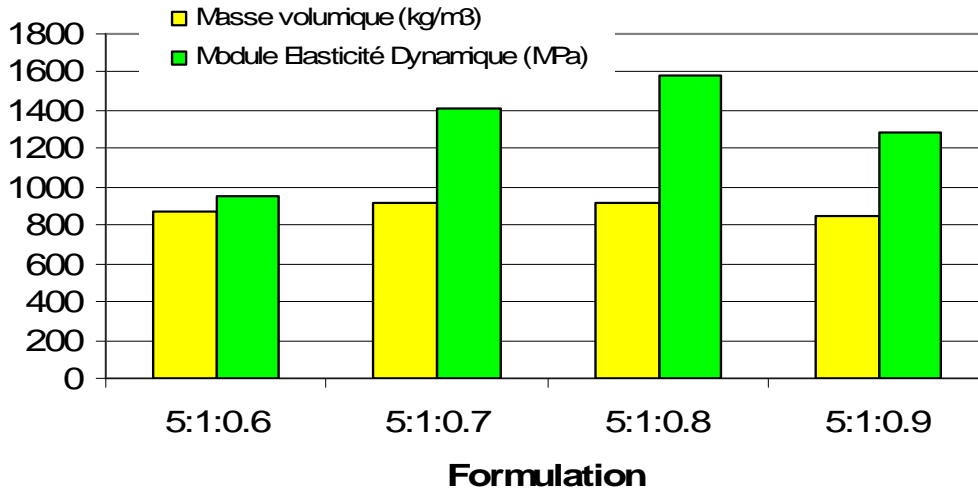


Fig. 5.46 Résistances mécaniques des composites Diss/Ciment =5.0, pour différents rapports E/C

#### 5.9.2 Modules d'élasticité Dynamique

Les résultats des modules d'élasticité dynamique des composites dont le rapport Diss/Ciment = 5.0 sont représentés sur la figure 5.47.



**Fig. 5.47 Modules d'Elasticité Dynamique pour les composites Diss/Ciment =5.0, pour différentes formulations.**

### 5.9.3 Interprétation des résultats

Les résultats des résistances obtenues pour le rapport Diss/Ciment égal à 5.0 sont plus importantes que celles obtenues pour le rapport Diss/Ciment égal à 4.0, ceci explique bien que les fibres ont un grande influence sur le comportement mécanique des composites, et pour des masses volumiques légèrement inférieures.

La formulation optimum obtenue est celle correspondant à **5:1:0.8**, ce qui est logique puisque la quantité de fibres de diss supplémentaires ajoutées pour atteindre cette formulation a besoin d'une quantité d'eau supplémentaire pour assurer une hydratation convenable.

On a observé au cours des essais de flexion que la rupture n'est pas aussi fragile, mais il aurait fallu moins de cycles chargements-déchargements que les composites dont le rapport Diss/Ciment égal à 4.0, ce qui est du au manque de liant entre les fibres.

Il est également à signaler que la rupture, on distingue clairement les zones tendues et comprimées, ce qui explique que les fibres jouent un rôle de renforcement pour le composite.

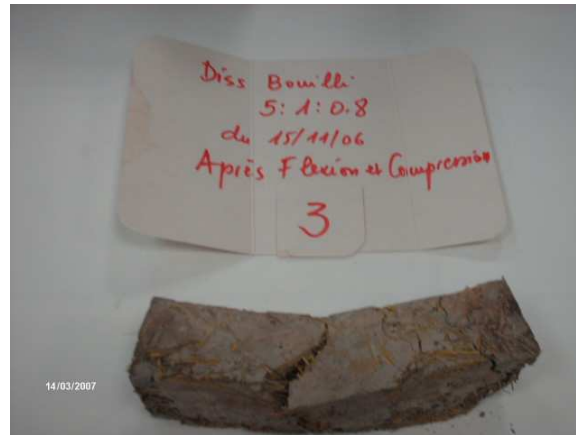


Fig 5.48 Composite de diss bouilli 5 :1 :0.8, après essai de compression et flexion

| Formulation                  | $\rho$ (Kg.m <sup>-3</sup> ) | Essai N° | Conductivité $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Effusivité b (Jm <sup>-2</sup> s <sup>-1/2</sup> K <sup>-1</sup> ) | Diffusivité a (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> ) | Chaleur massique C (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------|------------------------------|----------|--|--|--|---|
| <b>D. Bouilli 5:1:0.8</b>    | <b>1034</b>                  | Essai 1  | 0,301  | 454,80   | 4,127 10 <sup>-7</sup>                           | 712,00  |
|                              |                              | Essai 2  | 0,342  | 457,20   | 5,6 10 <sup>-7</sup>                             | 614,00  |
|                              |                              | Essai 3  | 0,344  | 467,60   | 5,42 10 <sup>-7</sup>                            | 649,00  |
| <b>D. Prémouillé 5:1:0.8</b> | <b>994</b>                   | Essai 1  | 0,277  | 442,10   | 3,93 10 <sup>-7</sup>                            | 681,00  |
|                              |                              | Essai 2  | 0,309  | 437,00   | 5,01 10 <sup>-7</sup>                            | 596,00  |
|                              |                              | Essai 3  | 0,281  | 426,00   | 4,45 10 <sup>-7</sup>                            | 617,00  |

Tableau 5.11 Résultats des paramètres thermiques des composites, D/C=5.0

| Formulation                  | $\rho$ (Kg.m <sup>-3</sup> ) | Essai N° | conductivité $\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | Moyenne     |
|------------------------------|------------------------------|----------|--|-------------|
| <b>D. Bouilli 5:1:0.8</b>    | <b>1034</b>                  | Essai 1  | 0,301  | <b>0,33</b> |
|                              |                              | Essai 2  | 0,342  |             |
|                              |                              | Essai 3  | 0,344  |             |
| <b>D. Prémouillé 5:1:0.8</b> | <b>994</b>                   | Essai 1  | 0,277  | <b>0,29</b> |
|                              |                              | Essai 2  | 0,309  |             |
|                              |                              | Essai 3  | 0,281  |             |

Tableau 5.12 Moyenne des conductibilités thermiques des composites, D/C=5.0

On note d'après les résultats obtenus le double avantage pour les composites dont le rapport Diss/Ciment égal à 5.0, d'une part de plus fortes résistances, et de l'autre des conductibilités thermiques inférieures à celles obtenues pour le rapport Diss/Ciment égal à 4.0. On constate également des tableaux 5.9 et 5.12 que les composites de diss pré-mouillé, présente des conductibilités thermiques inférieures au diss bouilli mélangé à sec avec la pâte de ciment, en même temps des résistances plus élevées.

### **5.10 INFLUENCE DES COMPOSES HYDROSOLUBLES SUR LES CARACTERISTIQUES MECANQUES DES COMPOSITES**

Entre le passage de l'état non bouilli à l'état bouilli lavé et rincé, nous avons constaté que les caractéristiques mécaniques, physiques et hydriques ont beaucoup changé. Durant la phase de l'ébullition on a constaté un dégagement d'odeur et d'eau de couleur marron. Un retard de prise de prise a été bien constaté en utilisant le diss non bouilli. Ce retard de prise diminue considérablement et devient même normal. Pour vérifier le changement de composition des produits causes de toutes ces anomalies, nous avons opté pour une solution intermédiaire. Cette solution consiste à considérer des fibres bouillies, non lavées et séchées.

#### **5.10.1 Influence des procédés de rinçage des fibres sur les modules d'élasticité Dynamique**

Les résultats obtenus pour le module d'élasticité dynamique sont représentés sur la figure 5.49.

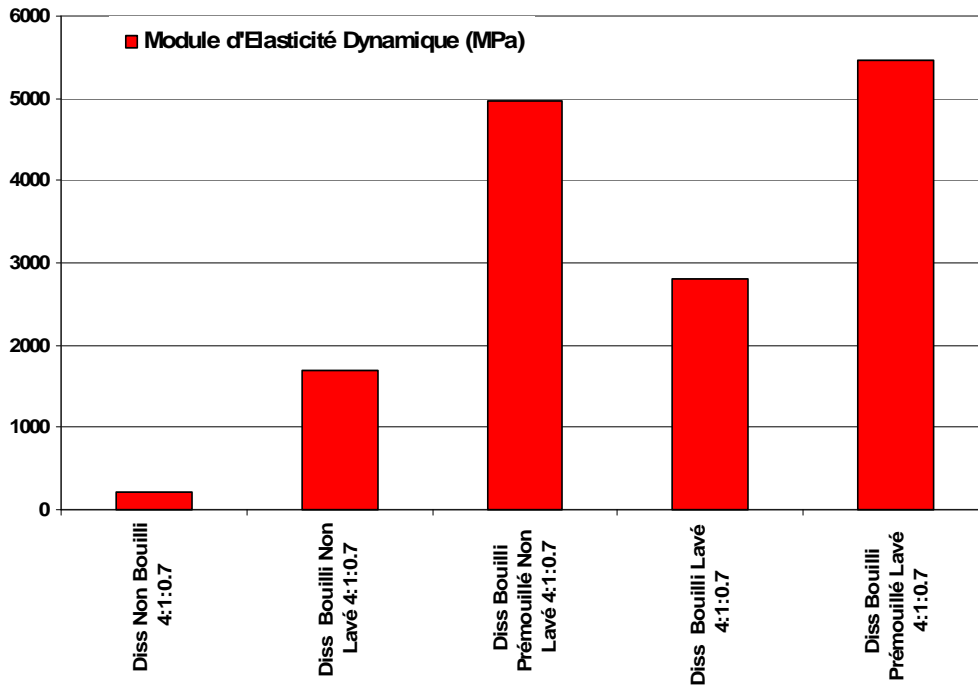


Fig. 5.49 Modules d'élasticité Dynamique à 28 jours pour différents états

5.10.2 Influence des procédés de rinçage des fibres sur les Résistances Mécaniques

Les résistances mécaniques obtenues pour ces trois états de traitements 5.50.

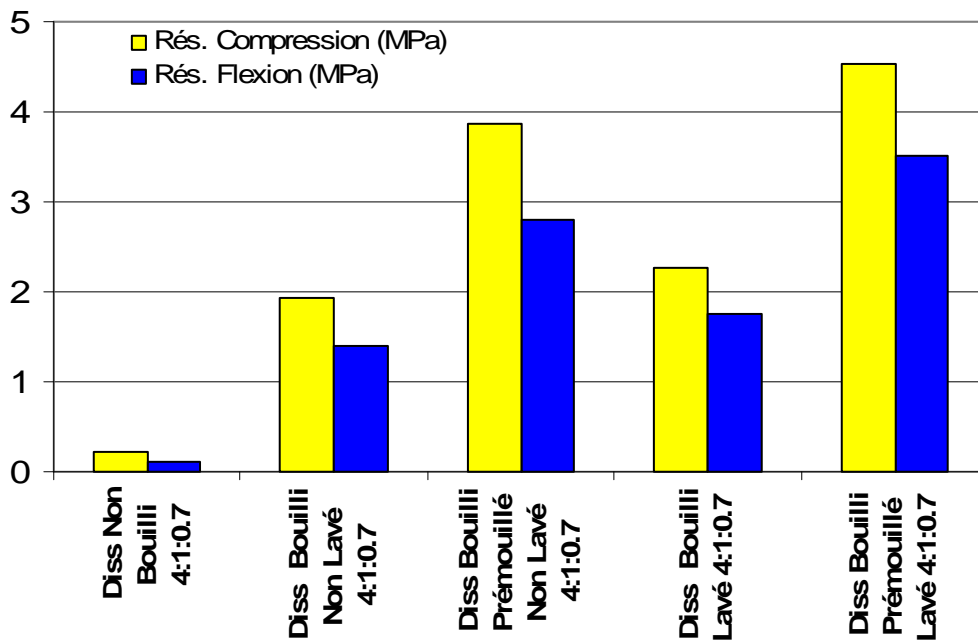


Fig. 5.50 Résistances Mécaniques à 28 jours pour différents Etats

**5.10.3 Interprétation des résultats**

Si on se réfère au tableau 5.3, on constate que les hydrosolubles causes de ce retard sont évaluées à 16.83% pour le diss non bouilli, de 10.10% pour le diss bouilli non lavé, et de 4.95% pour le diss bouilli, lavé et rincé sous l'eau du réseau pour pouvoir enlever les particules en suspens.

L'analyse biologique a montré que le diss non bouilli contient également des sucres hydrosolubles de l'ordre de 62.24 % des composés hydrosolubles, alors qu'elle est nulle pour le diss bouilli.

Les composés hydrosolubles doivent contenir d'autres éléments chimiques inconnus en détail pour l'instant.

Les résultats des modules d'élasticité et de résistance sont faibles pour le diss non bouilli à cause de la présence de sucre et d'autres hydrosolubles qui agissent mal avec le ciment en causant un retard d'hydratation et bien sur de prise. Ces mêmes résultats sont importants pour le diss bouilli, lavé et rincé, puisque une majeure partie des hydrosolubles ont pu disparaître. Les modules d'élasticité et les résistances obtenues pour le diss bouilli non lavé sont moyennes puisque, après ébullition, une partie des matières hydrosolubles restent en suspension sur les parois des fibres.

Conclusions

## **CONCLUSIONS**

### 6.1. Maçonnerie

La résistance des assemblages de briques de hautes résistances est fonction de la résistance des unités de maçonneries et de la résistance du mortier. Ces relations entre résistances des composants et de l'assemblage ne sont pas proportionnelles, car elles sont fonction également de la rugosité des surfaces, de l'adhérence entre mortier et briques. Ces paramètres sont responsables des variations des contraintes latérales entre les briques et le mortier, qui à leur tour influent sur la résistance à la compression des assemblages. Les coefficients d'efficacité qui est le rapport entre la résistance à la compression des prismes sur celle des unités de maçonnerie est d'environ 22% pour les briques d'argile, de 50% pour les briques de chaux et sable, et de 34% pour les briques de béton.

Par contre pour les briques de très faibles résistances, les ruptures du panneau sont gouvernées par la rupture des premières briques, qui n'ont pas la capacité de pouvoir transmettre les efforts de compression à l'ensemble du panneau. C'est pour cela que l'utilisation des briques de faibles résistances est beaucoup plus néfaste que bénéfique pour les structures soumises aux efforts horizontaux, et surtout séismiques. Cela s'explique par le fait que plus la masse du remplissage est importante, plus l'effort sismique à la base de la structure augmente, alors que ce remplissage n'offre aucune résistance.

Les remplissages en maçonnerie ordinaires, sont soumis généralement à des contraintes de cisaillement combinée à des contraintes de compression. Quand les briques formant le remplissage sont de faibles résistances, le mode de rupture le plus prépondérant est atteint par compression avant le mode de rupture par cisaillement. Par contre pour les briques de forte résistance, le mode de rupture le plus prépondérant est atteint par cisaillement. Ce qui permet de déduire que les briques de fortes résistances participent mieux que les briques de faibles résistances aussi bien que la structure est soumise à des efforts de compression ou de cisaillement.

Par contre l'utilisation de briques légères réduit les forces horizontales à la base de la structure d'une façon proportionnelle. Les briques à base de fibres végétales ont une masse volumique moitié des briques ordinaires, leur utilisation dans la structure réduit l'effort sismique de moitié, en plus ils présentent des résistances de compression plus importantes que les briques ordinaires de faibles résistances.

Il ressort de cette étude de bien choisir le type de remplissage, soit en utilisant des briques ordinaires de fortes résistances, qui puissent reprendre une partie de l'effort de cisaillement, ou utiliser des briques légères qui réduisent les efforts sismiques dans la structure.

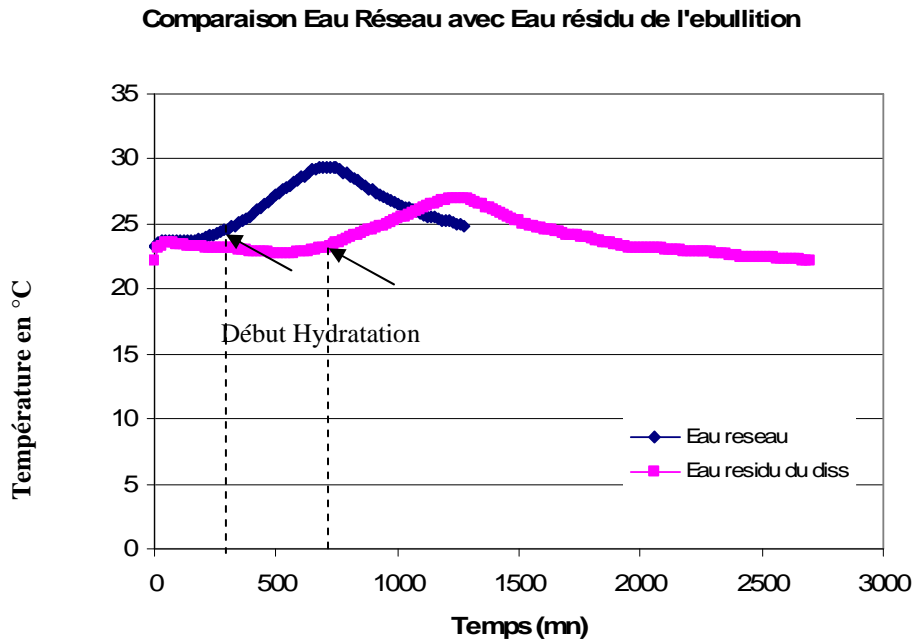


### 6.2. fibres végétales

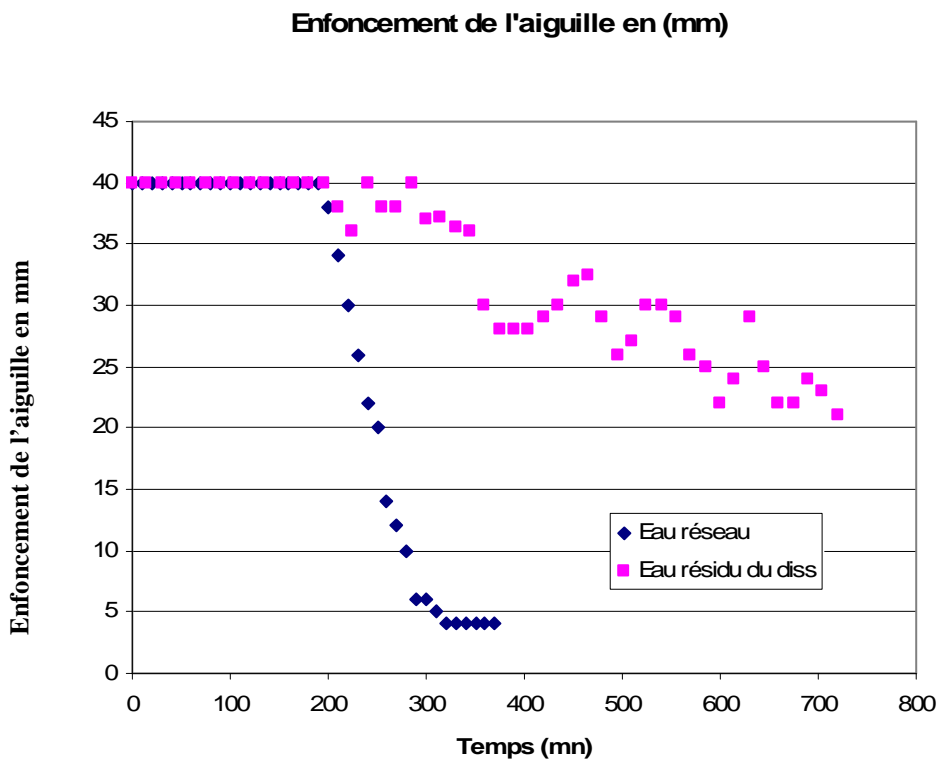
Comme dans notre recherche nous avons opté pour la fabrication de briques à partir de composites à base de diss à matrice cimentaire. Les résultats trouvés pour certains traitements sont très encourageants, et laisse prévoir un développement ultérieur sur d'autres végétaux tels que la paille et l'alfa. L'utilisation des fibres de diss pour la première fois comme composite à matrice cimentaire, ouvre des perspectives de recherches avec d'autres liants à base de matériaux locaux comme l'argile. Le diss présente une résistance à la traction importante à cause de la présence de cellulose et de lignine et un pourcentage important de Silice.

#### 6.2.1 Influence du traitement thermique

En comparant les résultats du chapitre 5 entre les composites de diss bouilli et non bouilli, on constate qu'il y a une grande amélioration. On peut d'ores et déjà éliminer l'utilisation du diss non bouilli avec le liant ciment, vu la présence des hydrosolubles contenus dans le diss réagissent avec la pâte de ciment, à cause de la quantité de sucre évaluée à 62.24% dans le diss non bouilli, et est nulle dans le diss bouilli. La présence des sucres dans le diss non bouilli confirme bien la mauvaise tenue du composite, due à la mauvaise hydratation des fibres de diss avec le ciment. On confirme alors que la présence des sucres dans le diss retarde bien la prise et donc le durcissement de la pâte de ciment utilisée comme liant. On constate sur la figure 6.1 que l'hydratation de la pâte de ciment avec le diss bouilli se fait au bout 4h30, alors que pour le diss non bouilli, elle se fait au bout de 12H30, mais le composite reste humide pendant toute la période de la cure. Les résultats des essais de prise montrés sur la figure 6.2 montrent que la prise de la pâte de ciment à l'eau du réseau se fait au bout de 4h30, par contre avec l'eau résidu du diss, la prise finale se fait au bout de 18 heures.



**Fig 6.1** Température d’Hydratation des pâtes de ciment avec l’eau du réseau et l’eau résidu de l’ébullition des fibres en fonction du temps



**Fig 6.2** Comparaison des enfoncements de l’aiguille de l’essai de prise de la pâte de ciment avec l’eau du réseau et l’eau résidu de l’ébullition.

### 6.2.2 Influence du traitement par prémouillage

Le prémouillage a été adopté pour donner le temps nécessaire aux fibres de prendre l'eau qu'ils doivent absorber. Cette eau est complétée par l'eau nécessaire pour l'hydratation du ciment pendant la cure.

Le prémouillage permet aux fibres d'adhérer mieux à la pâte de ciment, et offre au composite une importante résistance.

Le diss bouilli mélangé au ciment et à l'eau n'aura pas le temps d'absorber toute l'eau qu'il faut, vu que les particules de ciment empêchent l'eau de passer, et en plus la viscosité de l'eau avec le ciment augmente et l'eau ne passe pas facilement dans les alvéoles des fibres.

### 6.2.3 Influence du traitement à l'huile de lin

Le traitement à l'huile de lin rend les fibres étanches. Les fibres enrobées n'absorbent pratiquement pas d'eau, et le dosage en eau est bien réduit à E/C égal à 0.4. Les composites ainsi obtenus donnent des résistances à la flexion très importantes comparés aux composites de diss bouilli.

Les fibres enrobées de huile de lin deviennent lisses, permettent à la pâte de ciment d'y bien adhérer aux fibres puisque la structure épineuse toujours visible.

Les plus fortes résistances en flexion et en compression sont obtenues pour le diss enrobé de huile de lin et de fibres prémouillées. Ceci montre que quand les fibres sont mouillées elles adhèrent mieux à la pâte de ciment, ce qui permet aux fibres de se comporter comme un renforcement.

### 6.2.4 Influence du traitement au bitume

Malgré que la couche de bitume rend les fibres de diss étanches, mais l'enrobage n'est pas fin, il a une épaisseur un peu épaisse, ce qui couvre aussi les épines des fibres. Les fibres ainsi couvertes n'adhèrent pas bien à la pâte de ciment, et laissent des alvéoles entre les fibres enrobées de pâte de ciment.

La disposition aléatoire de ces fibres n'offre pas une grande résistance au composite.

L'absorption de l'eau qualité des fibres végétales n'est pas un inconvénient majeur, il suffit de bien choisir le rapport E/C optimum et convenable.

### 6.2.5 Influence des fibres sur les résistances

Les composites dont le rapport fibres de diss/ciment est égal à 5.0 ont donné des résistances plus importantes, ceci confirme que les fibres jouent le rôle de renforcement. Les fibres ont le rôle principal de reprendre les efforts et d'augmenter la ductilité du composite. Ainsi leur utilisation permet d'améliorer le comportement des composites et d'obtenir une meilleure résistance à la traction et à la compression. Elles permettent également de contrôler la

propagation des fissures et de retarder la rupture finale du matériau par dissipation de l'énergie excédentaire. Cette formulation présente aussi l'avantage d'avoir une masse volumique réduite et des conductibilités thermiques inférieures.

### 6.2.6 Influence des matières hydrosolubles sur les résistances

Les essais de diss bouilli, bouilli non lavé, et bouilli lavé et rincé, confirment bien que la présence de substances hydrosolubles influent considérablement la prise et donc sur le durcissement du composite. Plus ces matières hydrosolubles sont moindres, plus les résistances sont plus importantes.

### 6.3 Composites

Dans un composite à fibres, la matrice joue un rôle de protection et de liant, et au niveau mécanique elle transmet les efforts d'une fibre à une autre.

Les composites ainsi obtenus après traitements des fibres ont donné des résultats très intéressants pour des composites à usage de briques de remplissages dans les structures surtout soumises aux séismes. Les composites obtenus après traitements hydro thermique et par enrobage à l'huile de lin et prémouillage ont donné un matériau au comportement élasto-plastique avec une rupture non fragile, on parle alors de matériau résistant, ductile et léger. Il présente les caractéristiques de remplissages des constructions en zones sismiques.

Dans le cas de composites de fibres de diss bouilli, de diss prémouillé et de fibres de diss enrobées d'huile de lin, les résistances sont plus ou moins importantes à cause de la disposition horizontale des fibres. Cette disposition des fibres est due à leur élancement, et sont enrobées de pâte de ciment qui offre à ces fibres d'agir en paquets, et participent mieux aux efforts de traction.

Les résultats de ce travail peuvent se résumer de la façon suivante :

- Le traitement à l'eau bouillie a bien amélioré les caractéristiques mécaniques des composites alors que la structure de la fibre n'a pas évolué. Les fibres se placent horizontalement dans le composite, ce qui lui offre la capacité de travailler comme renforcement, sans pour autant augmenter les masses volumiques des composites soit 800 à 1200 kg/m<sup>3</sup>.

- L'utilisation de ces composites comme remplissage dans les structures soumises aux efforts sismiques, qui sont réduits en raison de la légèreté du matériau, qui de plus présente un comportement ductile.

- L'absorption des fibres n'affecte pas les résistances mécaniques d'un composite, si le rapport Eau/Ciment est bien étudié.

- La disposition horizontale des fibres présente l'avantage de mieux participer dans la reprise des efforts de traction auxquelles elles sont soumises.

- Les éprouvettes de fibres traitées à l'ébullition et à l'huile de lin ont pu résister à des contraintes de traction par essais de flexion assez considérables, comparées aux composites de fibres naturelles et aux composites à fibres enrobées de bitume, sans qu'il ait apparition de fissures aux premières charges de rupture. En compression, les ruptures des éprouvettes de diss bouilli et à l'huile de lin n'ont pas manifesté de rupture fragile, les éprouvettes sont restées presque intactes.

- Les composants causes de retard de prise sont surtout les sucres solubles, les hémicelluloses et certaines essences et sèves existantes sur la surface de la plante.

- Les composites à base de fibres de diss bouillies enrobées de huile de lin ont donné les meilleures résistances, vu qu'ils gardent la structure épineuse, et que les fibres humides sont préférables aux fibres sèches pour les qualités du mélange et que l'absorption d'eau est moins importante et la compacité meilleure.

- Les éprouvettes à base de fibres de bitume plus épaisses, n'ont pas manifesté de grandes résistances à cause de leur dispersion aléatoire dans la matrice, ce qui favorise leur défaillance vis-à-vis des efforts de traction.

- Les améliorations effectivement apportées par la présence de fibres dans le composite sont dues essentiellement :

- \* au pouvoir adhérent des fibres à la pâte de ciment, à cause de leur structure épineuse,

- \* à leur structure fine leur permettant de se placer horizontalement, et ainsi de mieux participer à la reprise des efforts de traction.

- \* à la bonne adhésion des fibres à la pâte de ciment, quand les fibres sont prémouillées ou enrobées de huile de lin.

En conclusion cette étude a permis d'obtenir des précisions quant aux performances des composites à base de diss. L'approche globale de ces propriétés a permis de voir le côté polyvalent de ce matériau qui peut servir à la fois d'isolant thermique tout en conservant des propriétés mécaniques correctes. Toutefois ces propriétés mécaniques ne sont pas suffisantes pour permettre un usage sans structure porteuse.

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] Aamr Daya E.H, Contribution à la valorisation de co-produits du lin, poussières obtenues par aspiration lors du teillage, dans une matrice cimentaire, Thèse de doctorat de l'Université de Picardie Jules Verne., Septembre 2004.
- [2] Ascione L, Feo L, Fraternali F, Load carrying capacity of 2D FRP/ strengthened masonry structures, *Composites Part B* 36 (2005) 619-626.
- [3] Atkinson R.H, Noland J.L, Abrams D.P et Hendry S, A deformation failure for stack-bond brick masonry prisms in compression, *Third North American Masonry*, June 1985, pp 18-1 à 18-18.
- [4] Bahloul L, Haouam A, Mansouri A, Extraction des hémicelluloses à partir des grignons d'olives et du Diss, Mémoire de Diplôme des Etudes Supérieures, Département de Biochimie, Université Badji Mokhtar Annaba, Juin 2007.
- [5] Bento R, Lopes M, Cardoso R, Seismic evaluation of old masonry buildings, Part II : Analysis of strengthening solutions for a case study, *Engineering Structures* 27 (2005) 2014-2023.
- [6] Bilba K, Arsene, M.A, Ouensanga, A, Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composites, *Cement and Concrete Composites* 25(2003) 91-96.
- [7] Blanco F, Garcia P, Mateos P, Ayala J, Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres, *Cement and Concrete Research* 30 (2000) 1716-1722.
- [8] Blankenhorn P.R, Silsbee M, Blankenhorn B.D, DiCola M, Kessler K, Temperature and moisture effects on selected properties of wood fiber-cement composites, *Cement and Concrete Research* 29 (1999) 737-741.
- [9] Blankenhorn P.R, Blankenhorn B.D, Silsbee M, DiCola M, Effects of fiber surface on mechanical properties of wood fiber-cement composites, *Cement and Concrete Research* 31 (2001) 1049-1055.
- [10] Chandra S, Eklund L, Villarreal R.R, Use of cactus in mortars and concrete, *Cement and Concrete Research* Vol 28, N°1 pp 41-51, 1998.
- [11] Choi Y, Yuan R.L, Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC, *Cement and Concrete Research* , article in press 2004.
- [12] Corradi M, Borri A, Vignoli A, Experimental study on the determination of strength of masonry walls, *Construction and Building Materials* 17 (2003) 325-337.
- [13] Costanlem P, Jauberthie R, Rendell F, Lightweight wood chipping concrete durability, *Construction and Building Materials*, article in press, xx (2005) xxx-xxx.

- [14] Coutts R.S.P, Autoclaved Bamboo Pulp Fibre Reinforced Cement, Cement and Concrete Composites 17 (1995) 99-106.
- [15] Coutts R.S.P, A review of Australian research into natural fibre cement composites, Cement and Concrete Composites 27 (2005) 518-526.
- [16] Demirbas A, Aslan A, Effects of ground hazelnut shell, wood and tea waste on the mechanical properties of cement, Cement and Concrete Research, Vol 28 N°8, pp 1101-110, 1998.
- [17] Demirboğa R, Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures, Building and environment, article in press, 2006.
- [18] Dreux G, Festa J Nouveau guide du béton et ses constituants , Ed Eyrolles, 8<sup>ème</sup> Edition, 2<sup>ème</sup> tirage 2002.
- [19] Dymiotis C, Gutleiderer B.M, Allowing for uncertainties in the modelling of masonry compressive strength, Construction and Building Materials 16 (2002) 343-352.
- [20] Elsharief A, Cohen M.D, Olek J, Influence of lightweight aggregate on the microstructure and durability of mortar, Cement and Concrete Research, article in press, 2004.
- [21] Garci Juenger M.C, Jennings H. M, New insights into the effects of sugar one the hydration and microstructure of cement pastes, Cement and Concrete Research 32 (2002) 393 –399
- [22] Grenley D.G, Study of the effect of certain modified mortars on compressive and flexural strength of masonry, Designing engineering and constructing with masonry products, ed F.B Jonhson, Gulf Publ. Houston 1969, pp 28-33;
- [23] Grimm C.T, Strength and related properties of brick masonry, Journal of structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol 101 ST1, January 1975, pp 217-232.
- [24] Grine Azzedine mémoire de magister “Comportement de la maçonnerie de la région de Annaba” Université Badji Mokhtar de Annaba, Mars 2002.
- [25] Gustafson S.E, Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solid materials. Review Scientific Instruments, 1991, Vol 62 N°3, pp 797-804;
- [26] Gustafson S.E, Suleiman B, Saxena N.S, Hak U,L, The transient plane source technique: experimental design criteria, High temperature, High pressure, 1991, vol 23, pp 289-293.
- [27] Hamid A.A, Drysdale E.L, Behaviour of brick masonry under combined shear and compression loading, Proceedings second masonry symposium, Ottawa, 1980, pp 51-64;
- [28] Hegemier G.A, Krishnamoorthy G, Nunn R.O et Moorthy T.V, Prisms tests for the compressive Strength of Concrete masonry Conference, August 1978, University of Colorado, Boulder, Colorado, pp 18-1 à 18-17.

- [29] Hendry A.W, Masonry walls: Materials and construction, *Construction and Building Materials* 15 (2001) 323-330.
- [30] Hilsdorf H.K, An investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression, *Designing Engineering and Constructing with masonry products*, ed F.B Jonhson, Gulf Publ., Houston 1969, pp 34-41;
- [31] Husem M, The effects of bond strengths between lightweight and ordinary aggregate-mortar, aggregate-cement paste on the mechanical properties of concrete, *Materials Science and Engineering A* 363 (2003) 152-158.
- [32] Jaafar M.S, Thanoon W.A, Najm A.M.S, Abdulkadir M.R, Abang Ali A.A, Strength correlation between individual block, prism and basic wall panel for load bearing interlocking mortarless hollow block masonry, *Construction and Building Materials* 20 (2006) 492-498.
- [33] Józwiak-Niedzwiedzka D, Scaling resistance of high performance concretes containing a small portion of pre-wetted lightweight fine aggregate, *Cement Concrete Composites* 27(2005) 709-713.
- [34] Kriker A, Debicki G, Bali A, Khenfer M.M, Chabannet M, Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate, *Cement Concrete Composites* 27(2005) 554-564.
- [35] Laidoudi Boubker, Contribution à la valorisation de déchets de caoutchouc dans une matrice cimentaire : caractérisation physico thermique et évaluation des performances à différents degrés d'humidité : étude expérimentale et modélisation, Thèse de doctorat de l'Université de Picardie Jules Verne., Juin 2005.
- [36] Langlet T, Amar Daya A, Benazouk A, Dheilily R.M, Quéneudec M, The suitability of utilising flax by-product materials for lightweight cement composites, *Construction and Building Materials*, article in press, xxx (2007) xxx-xxx.
- [37] Larbi J.A, Microscopy applied to the diagnosis of the deterioration of brick masonry, *Construction and Building Materials* 18 (2004) 299-307.
- [38] Ledhem A, Dheilily R.M, Benmalek M.L, Quéneudec M, Properties of Wood-based composites formulated with aggregate industry waste, *Construction and Building Materials* 14 (2000) 341-350
- [39] Ledhem A, Dheilily, Quéneudec M, Reuse of waste oils in the treatment of wood aggregates, *Waste Management* 20 (2000), 321-326.
- [40] Lo Y, Gao X.F, Jeary A.P, Microstructure of pre-wetted aggregate on lightweight concrete, *Building and environment* 34 (1999), 759-764.
- [41] Lourenço P.B, Barros J.O, Oliveira J.T, Shear testing of stack bonded masonry, *Construction and Building Materials* 18 (2004) 125-132.
- [42] Maurenbrecher A.H.P, Effect of the tests procedures on compressive strength of masonry prisms, *Second Canadian Masonry Symposium*, Ottawa 1980, pp 119-132.



- [43] Maurenbrecher A.H.P, Axial Compression tests on masonry walls and prisms. Third North American Masonry Conference, June 1985, pp 19-1 à 19-14.
- [44] Mc Nary W.S, Abrams D.P, Mechanics of masonry in compression, Journal of Structural Division, Vol 111, N°4, April 1985, pp 857-870;
- [45] Merzoud Mouloud mémoire de master “ Evaluation de la résistance et des propriétés structurales de la maçonnerie » Ecole polytechnique de Montréal, Avril 1987.
- [46] Merzoud, M et Habita, M.F "Résistance à la compression diagonale des murs en maçonnerie" 1<sup>er</sup> colloque maghrébin de Génie Civil, Annaba le 30/11 au 1/12/1999.
- [47] Moghadam H.A, Mohammadi M. Gh, Ghaemian M, Experimental and analytical investigation into crack strength determination of infilled steel frames, Journal of Constructional Steel Research, article in press, 2006.
- [48] Mohd Saleh Jaafar , Waleed A. Thanoon, Amad M.S. Najm, Mohd Razali Abdulkadir, Abang Abdullah Abang Ali, Strength correlation between individual block, prism and basic wall panel for load bearing interlocking mortarless hollow block masonry, Construction and Building Materials 20 (2006) 492–498
- [49] Moropoulou A, Bakolas A, Anagnostopoulou S, Composite materials in ancient structures, Cement Concrete Composites 27 (2005) 295-300.
- [50] Moslemi A.A, Lim Y.T, Compatibility of Southern hardwoods with Portland cement, Forest Products Research Society, 1984, Vol 34, N°78, p 22-26.
- [51] Nardini I, Zendri E, Biscontin G, Brunetin A, Analytical methods for the characterization of surface finishing in bricks, Analytica Chimica Acta 577 (2006) 276-280.
- [52] Okafor F.O, Eze-Uzomaka O.J, Eghuniwe N, The Structural properties and optimum mix proportions of palmtree fibre-reinforced mortar composite, Cement and Concrete Research, Vol 26, N°7, pp 1045-1055, 1996.
- [53] Pehanich J.L, Blankenhorn P.R, Silsbee M.R, Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composites, Cement and Concrete Research, 34 (2004) 59-65.
- [54] Perera R, Performance evaluation of masonry-infilled RC frames under cyclic loading based on damage mechanics, Engineering Structures 27 (2005) 1278-1288.
- [55] Peschard A, Govin A, Grosseau P, Guillhot B, Guyonnet R Effect of polysaccharides on the hydration of cement paste at early ages, Cement and Concrete Research, 34 (2004) 2153-2158.
- [56] Piementa P, Chandellier J, Rubaud M, Dutruel F, et Nicole H, Etude de la faisabilité des procédés à base de bétons de bois, Cahier du CSTB 2703, Janvier-Février 1994.

- [57] Pietruszczak S, Ushaksaraei R, Description of inelastic behaviour of structural masonry, *International Journal of Solids and Structures* 40 (2003) 4003-4019.
- [58] Ramakrishna G, Sundararajan T, Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar, *Cement Concrete Composites* 27 (2005) 575-582.
- [59] Reis J.M.L, Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete, *Construction and Building Materials*, 2005, article in press.
- [60] Sahota M.K, Riddington J.R, Experimental investigation into using lead to reduce vertical load transfer in infilled frames, *Engineering Structures* 23 (2001) 94-101.
- [61] Sahlin S « Structural masonry » , Prentice Hall, New Jersey 1971, 290 pp.
- [62] Salmén L, Micromechanical understanding of the cell-wall structure, *Comptes Rendus Biologies* 327 (2004) 873-880.
- [63] Savastano Jr H, Agopyan V, Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites, *Cement Concrete Composites* 21(1999) 49-57.
- [64] Savastano Jr H, Warden P.G, Coutts R.S.P, Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites, *Cement Concrete Composites* 22 (2000) 379-384.
- [65] Savastano Jr H, Warden P.G, Coutts R.S.P, Mechanically pulped sisal as reinforcement in cementitious matrices, *Cement Concrete Composites* 25 (2003) 311-319.
- [66] Savastano Jr H, Warden P.G, Coutts R.S.P, Potential of alternative fibre cements as building materials for developing areas, *Cement Concrete Composites* 25 (2003) 585-592.
- [67] Saxena N.S., Pradeep P., Mathew G., Thomas S., Gustafsson M., Gustafsson S.E., Thermal conductivity of styrene butadiene rubber compounds with naturel rubber prophylactics waste as filler, *European Polymer Journal* 35, 1999, pp.1687-1693.
- [68] Saxena N.S., Izhar-ul-haq, Thermal conductivity and its temperature dependence in selected steel samples, *International Journal of Energy Research*, Vol. 16, 1992, pp.489-496.
- [69] Selke S.E, Wiehman I, Wood fiber/polyolefin composites, *Composites Part A*, 35 (2004) 321-326.
- [70] Shrive N.G, The use of fibre reinforced polymers to improve seismic resistance of masonry, *Construction and building materials*, 20 (2006) 269-277.
- [71] Simatupang, Abbaureaktionen von Glucose, cellobiose und Holz unter dem Einfluss von Portlandzementmörtel, *Holzforschung*, 40 pp 149-155, 1986.
- [72] Soroushin P, Aouadi F, Chowdhury H, Nossoni A, Sarwar G, Cement-bonded straw subjected to accelerated processing, *Cement and Concrete composites* 26 (2004) 797-802.
- [73] Stafford Smith B « Behavior of squares infilled frames » *Journal of structural Division, Proceedings of American Society of Civil Engineers*, Vol 88 ST6, December 1962, pp 182-197

- [74] Stafford Smith B and Carter C « A method of analysis for infilled frames » Proceedings of the institution of Civil Engineers, Vol 44 , September 1969, pp 31-48.
- [75] Stancato A.C, Burke A.K, Beraldo A.L, Mechanism of a vegetable waste composite with polymer-modified cement (VWCPMC), *Cement and Concrete Composites* 27 (2005) 599-603.
- [76] Teixeira D.E, Moslemi Al, Assessing modulus of elasticity of wood-fiber cement (WFC) sheets using nondestructive evaluation (NDE), *Bioresource Technology*, 79 (2001) 193-198.
- [77] Tolèdo Filho R.D, Ghavami K, , Scrivener K, Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability, *Cement and Concrete Composites* 25 (2003) 185-196.
- [78] Tolèdo Filho R.D, Ghavami K, Sanjuan M.A, England G.L, Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetables fibres, *Cement and Concrete Composites* 27 (2005) 537-546.
- [79] Umit Serdar Camli, Baris Binici, Strength of carbon fiber reinforced polymers bonded to concrete and masonry, *Construction and Building Materials*, article in press, xx (2006) xxx-xxx;
- [80] Valluzzi M.R, Tinazzi D, Modena C, Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates, *Construction and Building Materials* 16 (2002) 409-416.
- [81] Vilà M, Lloret F, Ogheri E, Terradas J, Positive fire-grass feedback in Mediterranean Basin woodlands, *Forest Ecology and Management* 147 (2001) 3-14;
- [82] Wang C.N, Torng J.H, Experimental study of the absorption characteristics of some porous fibrous materials, Technical note, *Applied Acoustics* 62 (2001) 447-459.
- [83] Yildiz U.C, Yildiz S, Gezer E.D, Mechanical properties and decay resistance of wood-polymer composites prepared from fast growing species in Turkey, *Bioresource Technology*, article in press, xxx (2004) xxx-xxx.
- [84] Normes ASTM relatives à la maçonnerie
- [85] A.C.I 304.5R-91, Batching, Mixing, and Job Control of Lightweight Concrete, reported by ACI Committee 304, reapproved 1997.
- [86] A.C.I 544, 1R-96, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, reported by ACI Committee 544, 1996.