

## RÉSUMÉ

Les déchets industriels soulèvent actuellement des problèmes particulièrement difficiles à résoudre. Or leur réutilisation pourrait résoudre un triple problème : problèmes techniques, économiques et environnementaux.

Par ailleurs, la valorisation des matériaux locaux est devenue, actuellement, une solution nécessaire aux problèmes économiques des pays.

C'est dans ce contexte que s'ouvre la réflexion sur la formulation d'un nouveau béton utilisant des ressources abondantes et présentant des caractéristiques soit comparables aux bétons usuels, soit répondant à des exigences mal assurées par ces derniers.

Le présent travail consiste, alors, à incorporer deux déchets différents dans un béton de sable local. Les déchets envisagés sont des fillers calcaires et des copeaux de bois provenant respectivement des déchets de concassage et de menuiserie. Le matériau valorisé est un sable dunaire se trouvant en abondance dans le sud algérien.

Les résultats montrent qu'il est possible d'obtenir des *bétons de sable légers* présentant d'excellentes propriétés mécaniques en compression et en flexion. D'autre part, le retrait s'est montré un peu exagéré, d'où le recours au traitement des copeaux de bois avant leur utilisation était indispensable.

La tentative de traitement d'enrobage superficiel à l'aide d'un lait au ciment a considérablement amélioré les caractéristiques du composite étudié, notamment celles qui se sont considérées comme inconvénients.

Notons, enfin, la caractérisation de ces composites a été étendue vers une étude de durabilité dans différents milieux agressifs et il a été remarqué que les composites étudiés ne posent pas de grands problèmes vis à vis ces milieux.

---

### **MOTS-CLES:**

béton de sable, béton léger, béton de bois, copeaux de bois, résistance mécanique, compression, flexion, poids, retrait, traitement de copeaux de bois, durabilité, milieux agressifs,

---

**ABSTRACT**

The reuse of industrial waste become currently an alternative solution to solve many problems related to technique ,economic and environment.

It is within this from work that we have undertaken this study on the formulation of new concrete using available resources with characteristics comparable to those of convential concrete or fitting some requirements not well provided by this latter.

This work consists to incorporate two different wastes in concrete of local sand.

Waste used are limestone fillers and wood shavings coming respectively from the crushing process of aggregates and wood work activities.

The valorized materiel is a local dune sand which is very available in large quantities in the south of Algeria.

The results show that it is possible to obtain *light sand concrete* with good mechanical strength of compressive and bending. On the other hand, the shrink age was sleigh the high , hence the treatment of wood shavings seems important before their use.

The preliminary treatment of wood shavings with cement milk has significantly improved the characteristics of the studied composite, including those that are considered as drawbacks.

Finally, the characterization of these composites deals with the study of durability in various aggressive environments. It was revealed that, the studied composites paesaul a good behavior in these aggressive environment with ant problems.

---

**Key words:**

Sand concrete, light concrete, Wood concrete, shaving of wood , mechanical resistance, compressive , bending , weight loss, treatment of shaving of wood, durability, aggressive environment.

---

## ملخص

تؤدي النفايات الصناعية، خاصة في الوقت الراهن، إلى عدة مشاكل يصعب حلها . إعادة استخدام هذه النفايات يحل إذا عدة مشاكل منها ، مشاكل تقنية ،اقتصادية و بيئية. علاوة على ذلك، أصبح استغلال المواد المحلية حلا ضروريا للمشاكل الاقتصادية للبلدان .

في هذا السياق فتحنا النقاش حول صياغة ملموسة لخرسانة جديدة تعطي خصائص إما قريبة من الخرسانة العادية، إما كفيلة بتغطية الاحتياجات الغير محققة من طرف هذه الأخيرة.

يتميز هذا العمل بمزج نفايتين مختلفتين في خرسانة مكونة أساسا من الرمل المحلي . النفايات المضافة هي عبارة عن بقايا الحجر الكلسي و رقائق الخشب المأخوذة من بقايا تكسير الحجارة الكلسية و النجارة الخشبية، المادة المستغلة هي رمل الكثبان الموجود بوفرة كبيرة في الجنوب الجزائري.

أظهرت النتائج أنه من الممكن الحصول على **خرسانة رملية خفيفة** تعطي خصائص ميكانيكية ممتازة في الضغط و الانحناء إلا أن من جهة أخرى كان الانكماش مبالغا فيه قليلا، مما أدى بنا إلى معالجة رقائق الخشب قبل استعمالها.

محاولة المعالجة بواسطة التغطية السطحية بخليط الإسمنتي (إسمنت+ ماء) قد حسنت بشكل ملحوظ الخصائص التركيبية التي تمت دراستها بما في ذلك تلك التي اعتبرت عيوباً.

وأخيرا ، فقد تم تعميق هذه الدراسة إلى دراسة الديمومة في مختلف الأوساط العدوانية، لوحظ بأن التركيبة المدروسة لم تتأثر كثيرا بهذه الأوساط .

### كلمات مفتاح :

خرسانة رملية، خرسانة خفيفة، خرسانة خشبية، رقائق الخشب، مقاومة ميكانيكية، ضغط، انحناء، الوزن الانكماش ، معالجة رقائق الخشب، الديمومة ،الأوساط العدوانية .



# TABLE DES MATIERES

Remerciement

Résumé en arabe

Résumé en anglais

Résumé en français

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale: ..... 02

## **Chapitre I : Etude bibliographique**

I. Introduction: ..... 05

II. Béton de sable. .... 05

II.1.Définition : ..... 05

I.2.Les composants des bétons de sable : ..... 06

II.2.1. Les sables : ..... 06

II.2.2. Les ciments : ..... 06

II.2.3. Les fines d'addition: ..... 07

II.2.4. L'eau de gâchage: ..... 08

II.2.5. Les adjuvants: ..... 08

II.2.6. Autres ajouts: ..... 09

II.3.Propriétés des bétons de sable: ..... 10

II.3.1. Maniabilité-granulométrie: ..... 10

II.3.2. Résistance-granulométrie : ..... 12

II.4.Interaction armatures-béton de sable ..... 13

II.5.Phénomène de ségrégation: ..... 14

II.6.Phénomène de ressuage: ..... 15

II.7.Résistance au gel-dégel : ..... 15

II.8.Durabilité des bétons de sable: ..... 15

II.9.Principaux essais sur béton de sable frais: ..... 16

II.9.1.Malaxage: ..... 16

II.9.2. Serrage des bétons de sable: ..... 17

II.9.3. Protection contre la dessiccation: ..... 17

II.9.4. La maniabilité: .....	18
II.9.5. Essai de prise: .....	18
II.9.6. Essai sur la masse volumique: .....	19
II.10. Domaine d'emploi des bétons de sable: .....	19
II.10.1. Les bétons non vibrés: .....	19
II.10.2. Les bétons projetés : .....	19
II.10.3. Les travaux d'injection: .....	20
II.10.4. La préfabrication d'éléments destinés à rester apparents: .....	20
II.11. Désignation d'un béton de sable: .....	20
<b>III. Les bétons légers: .....</b>	<b>20</b>
III.1. Introduction: .....	20
III.2. Classification des bétons légers: .....	21
III.2.1. Classification basée sur la composition: .....	21
III.2.1.1. Les bétons caverneux: .....	21
III.2.1.2. Les bétons cellulaires: .....	21
III.2.1.3. Les bétons de granulats légers: .....	21
III.2.2. Classification basée sur l'utilisation: .....	22
III.2.2.1. Les bétons de remplissage: .....	22
III.2.2.2. Les bétons porteurs et isolants: .....	22
III.2.2.3. Les bétons de structure: .....	22
III.3. Caractérisation physico-mécaniques des bétons légers: .....	22
III.3.1. Masse volumique apparente: .....	22
III.3.2. Résistance à la compression: .....	22
III.3.3. Module d'élasticité: .....	23
III.3.4. Cisaillement: .....	23
III.3.5. Variations dimensionnelles: .....	23
III.3.5.1. Retrait de fabrication: .....	24
III.3.5.2. Fluage: .....	24
III.3.6. Aspect acoustique: .....	25
III.4. Caractérisation thermique des bétons légers: .....	25
III.4.1. Conductivité thermique: .....	25
III.4.2. Coefficient de dilatation: .....	25
III.5. Durabilité des bétons légers: .....	26

<b>IV. Granulat de bois</b> .....	26
IV.1.Bois naturel: .....	26
IV.1.1.Structure et composition chimiques du bois : .....	26
IV.1.2.Le bois et sa vision durable: .....	27
IV.1.3.Humidité et durabilité de bois: .....	27
IV.1.4.Propriétés thermo-physiques du bois: .....	28
IV.2.Différents types de copeaux de bois: .....	28
IV.2.1.Copeaux de bois commercialisés: .....	28
IV.2.2.Déchets de bois: .....	29
IV.3.Traitement de copeaux de bois: .....	29
IV.3.1Traitement physique: .....	30
IV.3.2.Traitement thermiques: .....	30
IV.3.3.Traitement chimique: .....	30
IV.3.4.Traitement mixte : .....	31
<b>V. Béton de bois</b> .....	31
V.1.Généralités sur béton de bois: .....	31
V.2.Type de matrice minérale: .....	32
V.2.1.Matrice à base de ciment: .....	32
V.2.2.Matrice à base de plâtre: .....	32
V.2.3.Matrice à base de ciments magnésiens: .....	32
V.2.4.Matrice à base de laitier: .....	33
V.2.5.Matrice à base de chaux : .....	33
V.3.Caractéristiques principales du béton de bois : .....	33
V.3.1.Performances acoustiques : .....	33
V.3.2.Conductivité thermique : .....	33
V.3.3.Le comportement vis-à-vis l'incendie : .....	33
V.4.Ajout de copeaux de bois à la matrice : .....	33
V.5.Synthèse des recherches ... ..	33
V.5.1.Masse volumique et retrait : .....	33
V.5.2.Microstructure poreuse : .....	34
V.5.3.Résistance à la compression : .....	34
V.5.4.Conductivité thermique : .....	34

V.6.Problème posé par les bétons de bois : .....	34
<b>VI. Durabilité du béton</b> .....	35
VI.1. Introduction .....	35
VI .2.Causes de désordres dans les constructions: .....	35
VI.3.Principales causes de détériorations: .....	36
VI .4. Facteurs de durabilité.....	37
VI .4.1.Influence des propriétés des matériaux : .....	37
VI .4.2.Influence du rapport E/C .....	37
VI.4.3.Mise en œuvre du matériau.....	38
VI .4.4. Effets du climat chaud sur la durabilité du béton et mortier.....	38
VI .4.5. Perméabilité et diffusivité .....	38
VI .4.6.Compacité et porosité .....	38
VI .4.7. Phénomène de carbonatation .....	39
VI .4.8. Cycles gel -dégel .....	40
VI .4.9.Action des solutions agressives .....	40
VI .4.9.1.Action des sulfates .....	40
VI .3.9.2.Action de l'eau de mer .....	44
VI.5.Fissures et détérioration.....	45
VI.6.Réparation.....	45
VI .6.1.Défauts et techniques de réparation.....	46
VI .6.2.Matériaux de réparation .....	48
VI .6.2.1.Types des mortiers de réparation .....	48
<b>VII. Conclusions</b> .....	49

## **Chapitre II : Matériaux de base et techniques expérimentales**

<b>I. Introduction</b> .....	52
<b>II. Caractéristique des matériaux premiers</b> .....	53
II. 1. Sable.....	53
II.1.1.Analyse granulométrique.....	53
II. 1.2. Caractéristiques physiques.....	54
II. 1.3. Synthèse des résultats .....	56

II.1.4 Commentaires des résultats.....	56
II.1.5. Caractéristiques chimiques .....	57
II.2. Le ciment.....	58
II-2-1- Caractéristiques physiques .....	58
II.2.2.Caractéristiques chimiques.....	59
II.2.3.Caractéristiques mécaniques.....	60
II.3.Eau de gâchage.....	60
II.4.Les fillers.....	61
II.5. Adjuvants .....	63
II.6. Les copeaux de bois.....	63
II.6.1.Analyse granulométrique.....	63
II.6. 2.Caractéristiques physiques.....	64
II. 7.Traitement des copeaux de bois .....	64
II.7.1.introduction.....	64
II.7.2.caractérisation des bétons de sable à base de copeaux de bois.....	64
<b>III. Composites étudiés.....</b>	<b>65</b>
III. 1. Optimisation de la matrice.....	66
III.2 Mode d'ajout de copeaux de bois .....	66
III. 3 Malaxage et après malaxage.....	66
III. 4. Techniques de mesures expérimentales: .....	68
III. 4.1.Essais mécaniques .....	68
III.4.2.Essai de rupture par flexion.....	68
III.4.3.Essai de rupture par compression.....	69
III. 4. 4.Mesure de poids.....	70
III. 4. 5 Mesure de retrait et de gonflement.....	70
III.4.6.Essais de durabilité.....	72
III.4.6.1. Résistance aux milieux agressifs .....	72
III.4.6.2. Milieux de conservation des éprouvettes .....	72
<b>IV. Conclusion .....</b>	<b>73</b>

### **Chapitre III : Caractérisation physico-mécanique.**

<b>III.1. Introduction .....</b>	<b>75</b>
----------------------------------	-----------

<b>III.2. Composition et caractéristiques des bétons frais</b> .....	76
<b>III.3. Comportement mécanique des Bétons durcis</b> .....	77
III.3. 1. Résistance à la compression.....	77
III.3. 1.1. Effet de l'ajout de copeaux de bois.....	77
III.3. 1. 2.Effet de traitement de copeaux de bois .....	79
III.3.1.3. Influence du type de sable .....	79
III.3.2. Résistance à la flexion .....	80
III.3. 2. 1.Effet de l'ajout de copeaux de bois .....	81
III.3. 2.2. Effet de traitement de copeaux .....	82
III.3. 2. 3.Influence du type de sable .....	83
III.3.3 Relation entre la résistance à la flexion et la résistance à la compression: .....	83
<b>III.4.Comportement physique des bétons durcis</b> .....	85
III.4.1. Retrait.....	85
III.4.2. Pertes en poids.....	89
<b>IV Conclusion</b> .....	92

## **Chapitre IV : Etude de la durabilité dans différents milieux agressifs**

<b>IV.1. Introduction</b> .....	94
<b>IV.2. Résistance aux différents milieux agressifs</b> .....	95
<b>IV.3. Propriétés mécaniques</b> .....	95
IV.3.1 Résistances à la compression.....	95
IV.3.2.Résistances à la flexion.....	99
IV.3.3 Influence de type du sable .....	103
<b>IV.4. Propriétés physiques</b> .....	104
IV.4.1. Variation du poids des éprouvettes .....	104
IV.4.1.1. Milieu A (Eau saturée en chaux) .....	104
IV.4.1.2. Milieu B (Sulfate de magnésium) .....	105

IV.4.1.3. Milieu C (Chlorure de sodium) .....	107
IV.4.2. Variations dimensionnelles des éprouvettes .....	108
IV.4.2.1. Milieu A (Eau saturée en chaux) .....	108
IV.4.2.2. Milieu B (Sulfate de magnésium) .....	109
IV.4.2.3. Milieu C (Chlorure de sodium) .....	110
<b>IV.5.Comparaison des résultats (entre le cas de copeaux de bois traités et non traités).....</b>	<b>112</b>
IV.5.1. Introduction.....	112
IV.5.2.Comparaison des caractéristiques mécaniques.....	112
IV.5.2.1.Résistance à la compression.....	112
IV.5.2.2.Résistance à la flexion.....	113
IV.5.3.Comparaison des Caractéristiques physiques .....	120
IV.5.3.1. Variation du poids.....	120
IV.5.3.2.Variations dimensionnelles .....	123
IV.6. Conclusion.....	125
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>128</b>

## **Références bibliographiques**

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **Chapitre I : Etude bibliographique**

**Tableau I.1:** Module d'élasticité de quelques types de bétons légers

**Tableau I.2:** Variations dimensionnelles de bétons légers

**Tableau I.3:** Coefficient de dilatation de quelques types de bétons légers

**Tableau I.4:** Propriétés thermo-physiques de quelques types de bois selon

**Tableau I.5:** Caractéristiques des bétons de bois selon

**Tableau I.6:** Compacité et porosité des bétons

**Tableau I.7:** Evaluation de l'agressivité chimique des sulfates pour différents milieux

**Tableau I.8:** Classement proposé par la norme ACI 201-2R-92 relatif à la sévérité des conditions d'exposition

### **Chapitre II : Matériaux de base et techniques expérimentales**

**Tableau II.1:** Résultats de l'analyse granulométrique des sables utilisés

**Tableau II.2:** Propriétés physiques des différents sables utilisés

**Tableau II.3:** Analyse chimique du ciment utilisé

**Tableau II.4:** Composition chimique de l'eau de gâchage

**Tableau II.5:** Analyse chimique des fillers

**Tableau II.6:** Compositions des deux bétons de sable (sans copeaux de bois)

### **Chapitre III : Caractérisation physico-mécanique**

**Tableau III.1:** Compositions des bétons de sable à base de copeaux de bois

**Tableau III.2:** Résistances à la compression des deux bétons de sable à base de copeaux de bois, avant et après traitement à 28 jours dans l'air libre (dosage en bois: B = 40 kg/m<sup>3</sup>)

**Tableau III.3:** Résistances à la flexion des deux bétons de sable à base de copeaux de bois, avant et après traitement à 28 jours dans l'air libre (dosage en bois : B = 40 kg/m<sup>3</sup>)

**Tableau III.4:** Résistances à la flexion et à la compression des deux bétons de sable à base de copeaux de bois, avant et après traitement à 28 jours

**Tableau III.5:** Evolution du retrait ( $\mu\text{m} / \text{m}$ ) en fonction du temps pour les différentes compositions étudiées du béton de sable dunaire

**Tableau III.6:** Evolution du retrait ( $\mu\text{m} / \text{m}$ ) en fonction du temps les différentes compositions étudiées du béton de sable alluvionnaire

**Tableau III.7:** Pertes en poids en fonction du temps du béton de sable dunaire sans et avec de copeaux de bois traités et non traités

**Tableau III.8:** Pertes en poids en fonction du temps du béton de sable alluvionnaire sans et avec de copeaux de bois traités et non traités

**Chapitre IV: Etude de la durabilité dans différents milieux agressifs**

**Tableau IV.01:** Résultats de la résistance à la compression des éprouvettes exposées à la chaux

**Tableau IV.02:** Résultats de la résistance à la compression des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium.

**Tableau IV.03:** Résultats de la résistance à la compression des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium.

**Tableau IV.04:** Résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes exposées à la chaux

**Tableau IV.05:** Résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium.

**Tableau IV.06:** Résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium

**Tableau IV.07:** Résultats du gain en masse des éprouvettes exposées à la chaux

**Tableau IV.08:** Résultats du gain en masse des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium

**Tableau IV.09:** Résultats du gain en masse des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium

**Tableau IV.10:** Résultats de la variation dimensionnelle des éprouvettes exposées à la chaux

**Tableau IV.11 :** Résultats de la variation dimensionnelle des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium

**Tableau IV.12:** Résultats de la variation dimensionnelle des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium

**Tableau IV.13:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en compression du deux BSD traité et non traité.

**Tableau IV.14:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en compression du deux BSA traité et non traité.

**Tableau IV.15:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en flexion du deux BSD traité et non traité.

**Tableau IV.16:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en flexion du deux BSA traité et non traité.

## LISTE DES FIGURES

### **Chapitre I : Etude bibliographique**

**Figure I.01:** Influence de la nature et du dosage en addition sur la maniabilité

**Figure I.02:** Structures granulométrique des bétons

**Figure I.03:** Relation entre maniabilité et module de finesse du sable

**Figure I.04:** Influence de la nature du sable sur la maniabilité

**Figure I.05:** Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance

**Figure I.06:** Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance

**Figure I.07:** Effet de la granularité sur la résistance

**Figure I.08:** Effort d'arrachement en fonction de la longueur d'ancrage d'une tige lisse de diamètre  $\varnothing = 10$  mm

**Figure I.09:** Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation

**Figure I.10:** Courbe de distribution de la porosité en fonction du rayon des pores

**Figure I.11:** Influence du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire

**Figure I.12:** Processus de détérioration du béton

**Figure I.13:** Relation entre la perméabilité et le rapport E/C de la pâte de ciment (Ciment hydraté:93%)

**Figure I.14:** Micrographie de l'ettringite

**Figure I.15:** L'état des éprouvettes dans la solution de 5 % de sulfate sur le module élastique dynamique de mortiers confectionnés avec un ciment Portland ordinaire et un ciment sursulfaté

**Figure I.16:** Facteurs influant sur l'étanchéité du béton, sous l'aspect de la durabilité de l'aptitude au service

**Figure I.17:** Causes de fissuration du béton frais et du béton durci

### **Chapitre II : Matériaux de base et techniques expérimentales**

**Figure II.01:** Echantillons des deux sables dunaire et alluvionnaire

**Figure II.02:** Courbe granulométrique des deux sables utilisés.

**Figure II.03:** Analyse par diffraction aux rayons X du sable de dune

**Figure II.04:** Analyse par diffraction aux rayons X du sable alluvionnaire

**Figure II.05:** Mise en évidence de la structure poreuse du bois utilisé

**Figure II.06:** Aspect général des copeaux de bois avant et après traitement au ciment

**Figure II.07:** Préparation du composite

**Figure II.08:** Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

**Figure II.09:** Photo de la presse avec dispositif de flexion

**Figure II.10:** Dispositif pour l'essai de résistance à la compression

**Figure II.11:** Photo de la presse avec dispositif de compression

**Figure II.12:** Photo de l'appareille pour la mesure du poids

**Figure II.13:** Photo de l'appareille pour la mesure du retrait

**Figure II.14:** Bouteilles contenant les solutions de conservation

### **Chapitre III : Caractérisation physico-mécanique**

**Figure III.01:** Evolution de l'affaissement au cône d'Abrams en fonction de la teneur en copeaux de bois (E/C=1)

**Figure III.02:** Influence de l'ajout des copeaux de bois sur la résistance à la compression à 28 jours

**Figure III.03:** Influence du traitement de copeaux de bois sur la résistance à la compression à 28 jours

**Figure III.04:** Influence du type de sable sur les résistances à la compression à 28 jours

**Figure III.05:** Influence de l'ajout des copeaux de bois sur la résistance à la flexion à 28 jours

**Figure III.06:** Influence du traitement de copeaux de bois sur la résistance à la flexion à 28 jours

**Figure III.07:** Influence du type de sable sur les résistances à la flexion à 28 jours

**Figure III.08:** Relation entre la résistance à la flexion et celle de compression des deux bétons de sable

**Figure III.09:** Variation du retrait en fonction du temps pour les différentes compositions étudiées du béton de sable dunaire (BSD)

**Figure III.10:** Variation du retrait en fonction du temps pour les différentes compositions étudiées du béton de sable alluvionnaire (BSA)

**Figure III.11:** Evolution de la Perte en poids dans le temps des bétons de sable dunaire

**Figure III.12:** Evolution de la Perte en poids dans le temps des bétons de sable alluvionnaire

### **Chapitre IV: Etude de la durabilité dans différents milieux agressifs**

**Figure IV.01 :** Evolution des résistances à la compression des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la chaux

**Figure IV.02:** Evolution des résistances à la compression des deux bétons en fonction des

temps d'immersion dans les sulfates de magnésium

**Figure IV.03:** Evolution des résistances à la compression des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les chlorures de sodium

**Figure IV.04:** Evolution des résistances à la flexion des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la chaux

**Figure IV.05:** Evolution des résistances à la flexion des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les sulfates de magnésium

**Figure IV.06:** Evolution des résistances à la flexion des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les chlorures de sodium

**Figure IV.07 :** Comparaison entre les deux résistances à la compression des deux bétons de sable dans tous les cas de conservation

**Figure IV.08:** Evolution du gain en masse des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la chaux

**Figure IV.09:** Evolution du gain en masse des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les sulfates de magnésium

**Figure IV.10:** Evolution du gain en masse des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les chlorures de sodium

**Figure IV.11:** Evolution de la variation dimensionnelle des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la chaux

**Figure .IV.12:** Evolution de la variation dimensionnelle des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les sulfates de magnésium

**Figure. IV.13:** Evolution de la variation dimensionnelle des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les chlorures de sodium

**Figure IV.14:** Histogramme de comparaison des résistances en compression des BSD traité et non traité dans différents milieux

**Figure IV.15:** Histogramme de comparaison des résistances en compression des BSA traité et non traité dans différents milieux

**Figure IV.16:** Histogramme de comparaison des résistances en flexion des BSD traité et non traité dans différents milieux

**Figure IV.17:** Histogramme de comparaison des résistances en flexion des BSA traité et non traité dans différents milieux

**Figure IV.18:** Histogramme de comparaison de la variation du poids des BSD traité et non traité dans différents milieux

**Figure IV.19:** Histogramme de comparaison de la variation du poids des BSA traité et non traité dans différents milieux

**Figure IV.20:** Histogramme de comparaison de la variations dimensionnelles des BSD traité et non traité dans différents milieux

**Figure IV.21:** Histogramme de comparaison de la variations dimensionnelles des BSA traité et non traité dans différents milieux

# Introduction générale

---

## 1) Problématique

Il est important de rappeler que, ces dernières années, la demande en matériaux de construction dans notre pays connaît une croissance considérable. Or, les gisements disponibles dans certaines régions ne sont pas à la hauteur de satisfaire cette demande. On se retrouve donc parfois confronté à une pénurie et parfois même à un épuisement progressif de certains matériaux de base.

La valorisation des matériaux locaux, peu ou pas exploités, est devenue donc une solution nécessaire pour surmonter ce problème. Par ailleurs, la réutilisation des déchets dans la construction pourrait également résoudre des problèmes, non seulement environnementaux, mais aussi économiques et techniques.

C'est dans cette optique que nous allons entreprendre cette étude qui va valoriser deux sables locaux, dunaire et alluvionnaire et réutiliser deux déchets différents, déchets de concassage d'agrégat et déchets de menuiserie de bois afin de formuler un *béton de sable léger durable*.

## 2) Objectif

L'objectif principal de cette étude est la formulation de nouveaux bétons légers qui utiliseraient des ressources abondantes, peu ou pas exploitées, et présenterait, soit des caractéristiques comparables à celles des bétons légers usuels, soit des caractéristiques répondant à certaines exigences mal assurées par ces derniers.

Il est, donc, important de présenter les expérimentations primordiales qui seront utilisées pour approfondir la caractérisation générale de ces matériaux et pour évaluer leur durabilité liée à la nature de leur environnement. Le processus de détérioration est complexe et fait donc intervenir un nombre important de paramètres.

Les caractéristiques de deux types de béton de sable étudiés, dunaire et alluvionnaire, seront évaluées en fonction du degré d'agressivité du milieu en considérant comme moyen de caractérisation: les résistances mécaniques (compression et flexion), variations dimensionnelles et variations de poids. Pour ceci, les éprouvettes seront immergées dans différents milieux de conservation chimiquement agressifs: un milieu à la chaux (Ca(OH)), milieu au chlorure de sodium (NaCl) et un milieu aux sulfates de magnésium (MgSO<sub>4</sub>).

Les paramètres pris en compte sont :

- 1) le type du milieu de conservation (chaux, chlorure de sodium et sulfates de magnésium),
- 2) La durée de conservation,
- 3) le type du béton de sable (dunaire et alluvionnaire),
- 4) L'état des copeaux de bois, traités et non traités),

Il s'agit, donc, de déterminer les critères à imposer sur ces paramètres, afin d'aboutir à la confection d'un béton à base de matériaux locaux, résistant à la dégradation chimique.

### 3) Structure du mémoire

Ce présent mémoire est composé de *quatre chapitres principaux* accompagnés d'une introduction générale au début et d'une conclusion générale à la fin :

- Un *premier chapitre* qui consiste en un aperçu global sur les bétons de sable, sur les bétons léger, en particulier les bétons de bois, ainsi que sur les agents agressifs, les phénomènes d'agressivité et leur relation avec la durabilité,
- Un *deuxième chapitre*, où nous présenterons les différentes caractéristiques des matériaux de base utilisés dans l'expérimentation avec la présentation des dispositifs et procédures d'essais,
- Les caractérisations physico-mécaniques générales du béton de sable dunaire et du béton de sable alluvionnaire à base de copeaux de bois traités et non traités seront détaillées dans un *troisième chapitre*,
- L'étude du comportement du béton de sable dunaire et du béton de sable alluvionnaire à base de copeaux de bois traités et non traités dans différents milieux agressifs ainsi qu'une comparaison des résultats (entre le cas de copeaux de bois traités et le cas de copeaux de bois non traités) seront détaillées dans un *quatrième et dernier chapitre*.

# Chapitre I : Etude bibliographique

## I. INTRODUCTION

Ce chapitre est une synthèse des recherches bibliographiques menées sur diverses documentations en rapport avec les *bétons de sable*, les *bétons légers*, en particulier les *bétons de bois*, et enfin *l'effet des milieux agressifs* sur les comportements physico-mécaniques des bétons.

- Concernant le béton de sable, et puisqu'il représente le constituant de base de notre composite, nous avons dressé un état de connaissance sur son historique, ses constituants, sa formulation et sur ses domaines d'applications.

- Concernant les bétons légers, nous avons essayé de donner une brève description sur leurs différents types, sur leurs principales caractéristiques en insistant en particulier sur le cas des bétons de bois. On a également essayé de recenser, dans la mesure du possible, les différents types de traitements, généralement pratiqués sur les granulats de bois.

- Concernant l'effet des milieux agressifs sur les comportements physico-mécaniques des bétons, différents mécanismes de dégradation ont été recensés et présentés dans ce chapitre.

Enfin, il faut noter que ce chapitre est une synthèse bibliographique qui regroupe toutes les informations jugées importantes et ayant un rapport direct avec notre sujet.

## II. BETON DE SABLE

### II.1. DEFINITION

Un béton de sable est un béton constitué de sable, de ciment, d'eau et de fines d'ajout. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres types d'ajouts peuvent être envisagés tels que : des adjuvants, des fibres, des gravillons, etc. Comme son nom l'indique, ce mélange est composé de sable comme élément majoritaire, au lieu des granulats de gros calibres.

Ce qui distingue les bétons de sable des bétons classiques réside essentiellement en leur faible dosage ou non en gravillons tout en gardant le dosage en ciment similaire aux bétons (300 à 400 kg/ m<sup>3</sup>). Par contre leur destination les distingue des mortiers qu'on utilise généralement qu'à la réalisation des joints et des enduits. En effet, ce béton est destiné à réaliser des éléments structuraux, dans le domaine du bâtiment et du génie civil. Il doit avoir donc une résistance caractéristique suffisante.

## II.2. LES COMPOSANTS DES BETONS DE SABLE

### II.2.1. LES SABLES

Les sables comprennent tous les éléments refusés au tamis de 80 $\mu$ m et passant à travers le tamis de 5mm. Dans le sens le plus courant, on entend par sable tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NFP 18-101 et NFP 18-301 [SABLOCRETE, 1994] (Avec D=5mm).

On distingue :

- les sables issus d'une chaîne d'élaboration mécanique (concassage, criblage) dits aussi sables artificiels,
- les sables naturels existant en abondance dans la nature sous forme de dépôts géologiques et résultant d'un processus d'érosion et de décomposition de roches.

La classification des sables est faite à partir de plusieurs paramètres tels que la granulométrie (sable fin, moyen ou grossier), la propreté, la nature minéralogique (siliceuse, calcaire, etc.), la teneur en fines, etc.

La réalisation d'un béton de sable n'exige pas un critère granulométrique de sables déterminé. On peut utiliser aussi bien un sable fin (même homométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté, où il est plus prudent de se limiter à l'utilisation de sables propres tels qu'on peut les employer pour des bétons classiques malgré les études effectuées sur des sables pollués qui n'ont jamais été mis en application.

Par ailleurs, il convient de noter que les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau, ce qui entraîne une chute de résistance.

### II.2.2. LES CIMENTS

Ce sont des poudres fines obtenues par la cuisson à haute température (vers 1450C°) et le broyage d'un mélange (calcaire + argile en général).

Ces poudres, constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier silicates et aluminates de chaux), forment avec l'eau une pâte capable par «hydratation» de faire prise et durcir progressivement d'où le nom de liants hydrauliques par opposition aux «liants aériens» (à base de chaux grasse et maigre) qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air.

Les ciments utilisés doivent être conformes à la norme NFP15-301. Le choix du ciment se fait à partir de sa classe de résistance, ses caractéristiques d'hydratation, l'agressivité du milieu et d'une manière générale de la composition du béton et l'usage auquel il est destiné.

Pour un béton de sable, les ciments type CPA (ciment portland artificiel qui contient au moins 97% de clinker, le reste étant du filler) sont utilisés pour bien exploiter l'activité hydraulique des fines d'ajout. [GHRIEB A.2003].

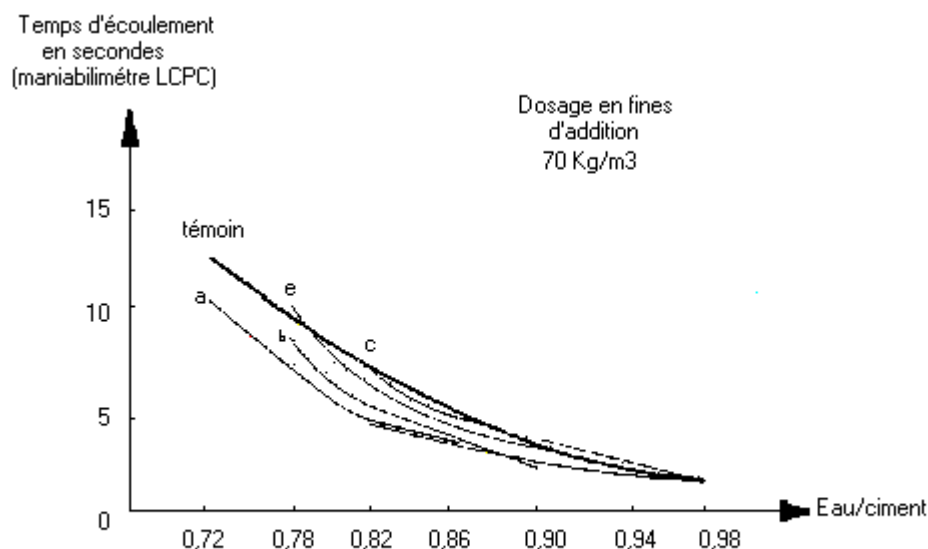
### II.2.3. LES FINES D'ADDITION

La distinction entre béton de sable et un béton classique se fait selon la gamme granulaire, cette dernière (plus une teneur en eau et une énergie de mise en place) donne au béton, une de ses qualités essentielles est la compacité : c'est le rapport entre le volume des solides et le volume total du mélange.

Pour les bétons classiques, l'idée d'optimiser la compacité se fait de telle sorte que les grains de ciment se logent dans les pores créés par les grains de sable qui à leur tour se logent dans les macro-vides des gravillons (éléments les plus gros) ; dans ce cas, la quantité nécessaire de ciment pour assurer la résistance mécanique coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir une bonne compacité.

On distingue les fillers inertes (fines calcaires, fines siliceuses) issues du broyage de roches massives qui n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau et les fillers actifs (les cendres volantes, laitiers moulus, pouzzolanes broyées etc.) qui apportent un complément d'hydraulicité au mélange.

La maniabilité, quant à elle, dépend de la nature géologique et du dosage en fines d'addition pour un rapport E/C fixe, elle s'améliore lorsque le rapport E/C augmente.



**Figure I.1** : Influence de la nature et du dosage en addition sur la maniabilité

[SABLOCRETE, 1994]

Pour des mêmes dosages en ciment, la résistance d'un béton à la compression dépend directement de la finesse des fines d'addition.

On obtient une bonne maniabilité avec des valeurs *eau /ciment* plus faibles avec des particules sphériques (réductrices d'eau) qu'avec des particules anguleuses, dont leur usage conduit à un dosage supérieur en eau [SABLOCRETE, 1994].

#### **II.2.4. L'EAU DE GACHAGE**

L'eau admise sert à l'hydratation du ciment et doit permettre le mouillage complet des agrégats, sans lequel, il n'aurait pas d'adhérence. Le minimum d'eau nécessaire dépend de la nature du liant utilisé, de la quantité du liant, de sa finesse et de la surface (spécifique) offerte par les agrégats ainsi de la maniabilité désirée pour les bétons.

Pour les bétons de sable, l'eau utilisée est la même que celle utilisé pour la confection des bétons classiques, qui doit être conforme à la norme européenne ENV1008 «eau de gâchage pour bétons », qui a permis de préciser les conditions d'utilisation d'une eau.

Il est à rappeler qu'une eau de gâchage inadéquate peut ralentir la prise, réduire les résistances mécaniques, favoriser la corrosion des armatures ou les câbles de précontrainte de béton ou entraîner des actions négatives sur la compacité ou la liaison pâte-granulats.

#### **II.2.5. LES ADJUVANTS**

On entend par « adjuvant » un produit (sous forme liquide ou pulvérulent) qui, ajouté au béton en faibles quantités, permet d'améliorer certaines propriétés ou qualités souhaitées soit sur le béton frais, soit sur le béton durci. Il n'a ni pour mission ni pour effet de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage ou d'une mise en œuvre défectueuse.

Il existe plusieurs types d'adjuvants dont la classification est la suivante : [PAILLIERE A, 1982].

- Adjuvants modifiant la prise et le durcissement : accélérateurs et retardateurs de prise.
- Adjuvants modifiant la résistance aux actions physiques et chimiques : hydrofuges de masse et produits de cure (les produits de cure sont des produits qui ne rentrent pas dans la fabrication du béton mais ils sont utilisés après la mise en œuvre du béton).
- Adjuvants modifiant la rhéologie et la teneur en air : réducteurs d'eau plastifiants, super plastifiants et entraîneurs d'air.

Le dosage à utiliser varie non seulement en fonction de la nature et la concentration de l'adjuvant, mais aussi en fonction de la nature du ciment, du volume de l'eau de gâchage et du dosage en ciment. Les erreurs du dosage ainsi que l'utilisation simultanée d'adjuvants

incompatibles peuvent conduire à des effets plus faibles ou même opposés à ceux qui étaient attendus.

Les adjuvants privilégiés à l'utilisation pour le béton de sable sont les réducteurs d'eau plastifiante et superplastifiante qui lui confèrent une meilleure plasticité, en améliorant sa maniabilité et augmentant sa résistance par suite d'une réduction de la teneur en eau [SABLOCRETE, 1994].

## **II.2.6. AUTRES AJOUTS**

D'autres types d'ajouts sont également possibles, tels que :

### **a- Les colorants**

La recherche d'effets esthétiques particuliers peut conduire à envisager l'utilisation de bétons de sable colorés. La coloration s'obtient soit par ajout lors du malaxage de produits colorants (dont le dosage ne dépasse pas 3% du poids de ciment) soit par utilisation de sable dont la couleur, combinée à l'emploi de ciment blanc, rappelle des couleurs naturelles.

Il conviendra cependant d'assurer une homogénéisation du colorant au malaxage et une stabilité de la teinte au cours du temps.

### **b- les fibres**

Elles sont utilisées dans le but de réduire le retrait au jeune âge, l'efficacité de cet ajout est assurée par sa nature et sa quantité.

Il est préférable d'utiliser des fibres d'acier pour améliorer la ductilité d'un béton ou des fibres organiques (polypropylène, bois, polyester, etc.) pour s'opposer aux effets du retrait de prise et s'abstenir aux fissurations qui en résultent.

### **c- Les gravillons**

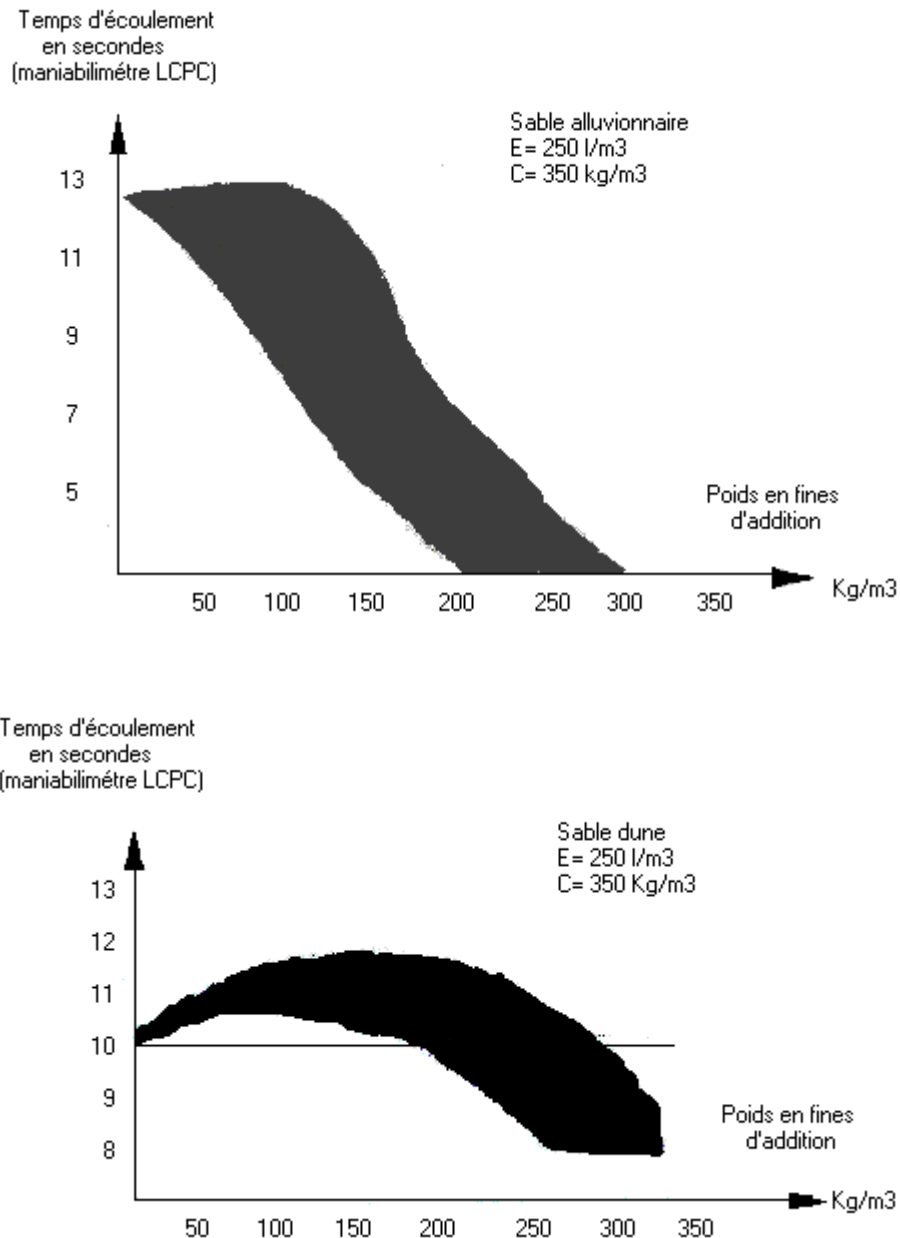
Un béton de sable chargé est un béton de sable dont on a ajouté un certain pourcentage de gravillons pour améliorer certaines caractéristiques telles que la maniabilité, le retrait, la résistance mécanique et notamment le fluage.

En effet, tant que les gravillons sont dispersés dans le sable et ne constituent pas un squelette structuré (figure I.2), le comportement du béton de sable reste le même.



L'augmentation de la teneur en fines (diminution du module de finesse) entraîne une augmentation du temps d'écoulement et donc une maniabilité moins bonne. Ce phénomène n'a pas un caractère systématique, il dépend de la nature des fines, telle que l'incorporation de fines de type sphérique devrait rendre l'eau plus efficace et donc améliorer la maniabilité.

La relation dosage en fines - maniabilité dépend aussi de la nature du sable et de sa granulométrie. La figure (I.5) indique l'effet différent des fines calcaires sur un sable de dune et un sable alluvionnaire 0/4.



**Figure I.4 :** Influence de la nature du sable sur la maniabilité [ SABLOCRETE , 1994]

Pour un sable de dune, l'ajout de fines jusqu'à 200 kg/m<sup>3</sup> entraîne une chute de maniabilité ce qui n'est pas le cas pour un sable alluvionnaire 0/4.

### II.3.2. RESISTANCE - GRANULOMETRIE

Un béton de sable est caractérisé par sa résistance à la compression et à la traction. Pour un dosage en ciment fixe, cette résistance peut dépendre d'un certain nombre de paramètres tels que :

#### a- La finesse de l'addition

Le gain en résistance est obtenu avec une addition de fines qui, défloculée dans le mélange, augmente sa compacité. Ce résultat est valable quelle que soit la granulométrie et la nature du sable (sable dunaire, sable alluvionnaire, etc.). A un dosage constant en fines, l'augmentation de la finesse des fines améliore la résistance.

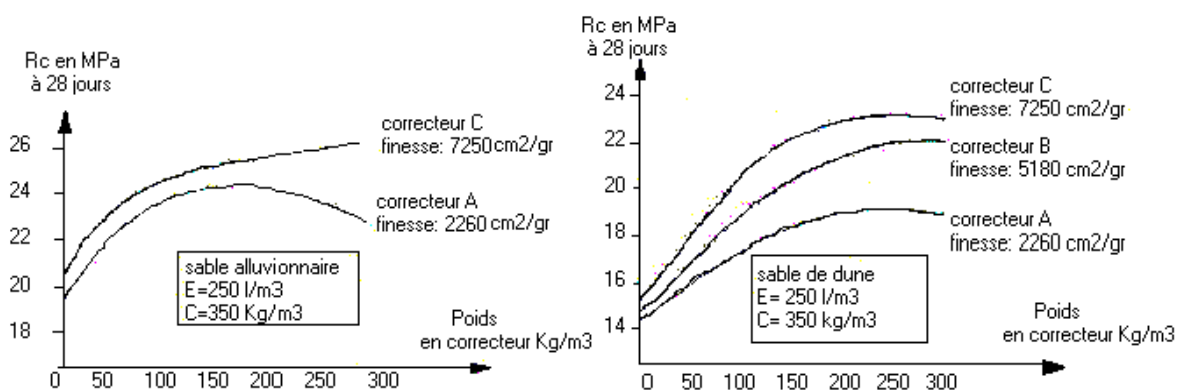


Figure I.5 : Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance

[SABLOCRETE, 1994]

#### b- La nature de l'addition

A même dosage, la nature de l'addition permet d'obtenir une diversité au niveau des performances des bétons de sable (figure I.6).

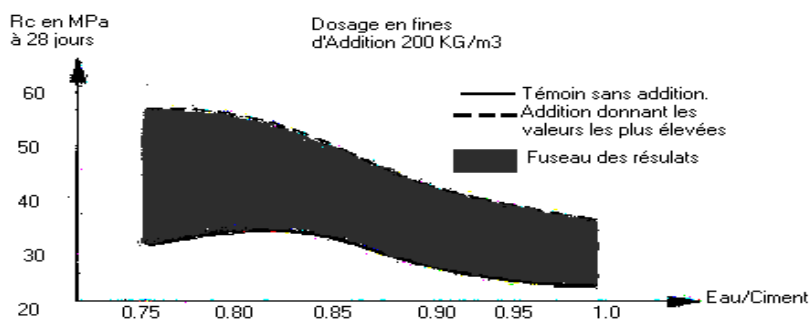


Figure I.6 : Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance

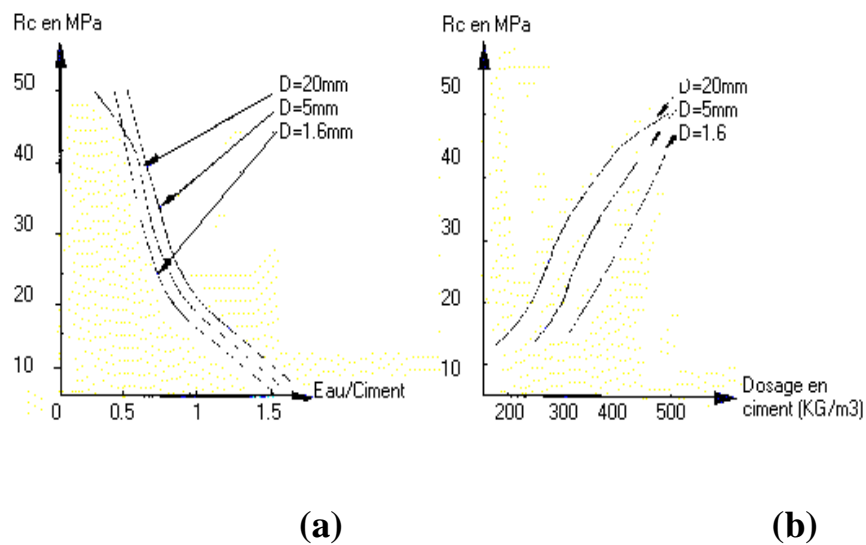
[SABLOCRETE, 1994]

Si on se fixe un rapport E/C égal à 0,75 la résistance à la compression varie de 30 MPa (sans additions) à 57 MPa (avec une addition donnant les valeurs les plus élevées).

Si l'on se place à maniabilité constante, les fillers les plus efficaces sont ceux qui, hydrauliquement actifs, entraînent une réduction d'eau.

### c- Le diamètre du plus gros grain de sable

Pour une même valeur du rapport E/C, on constate que l'effet du diamètre maximal (du plus gros granulat) est peu important et pas défavorable aux sables (figure I.7.a), le problème tient à la maniabilité qui est très différente selon les bétons : très maniable pour un 0/20mm et maniabilité de type préfabrication pour un sable 0/5mm.



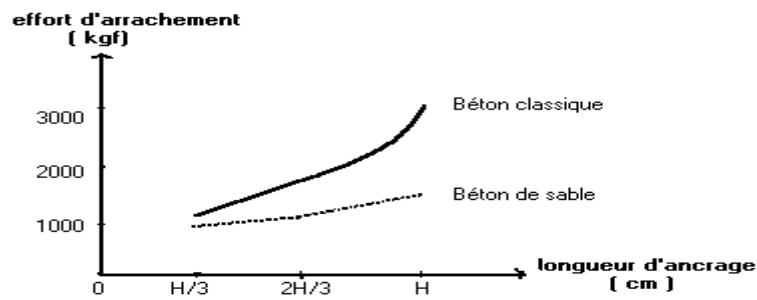
**Figure I.7 :** Effet de la granularité sur la résistance [SABLOCRETE, 1994]

A dosage similaire en ciment, mais à rapport E/C différent, l'effet du diamètre maximal est important. Les maniabilités étant identiques, les sables nécessitent beaucoup plus d'eau, ce qui entraîne une chute de résistance. L'emploi d'un plastifiant-réducteur d'eau permet de minimiser cette chute (figure I.7.b).

## II.4. INTERACTION ARMATURES-BETON DE SABLE

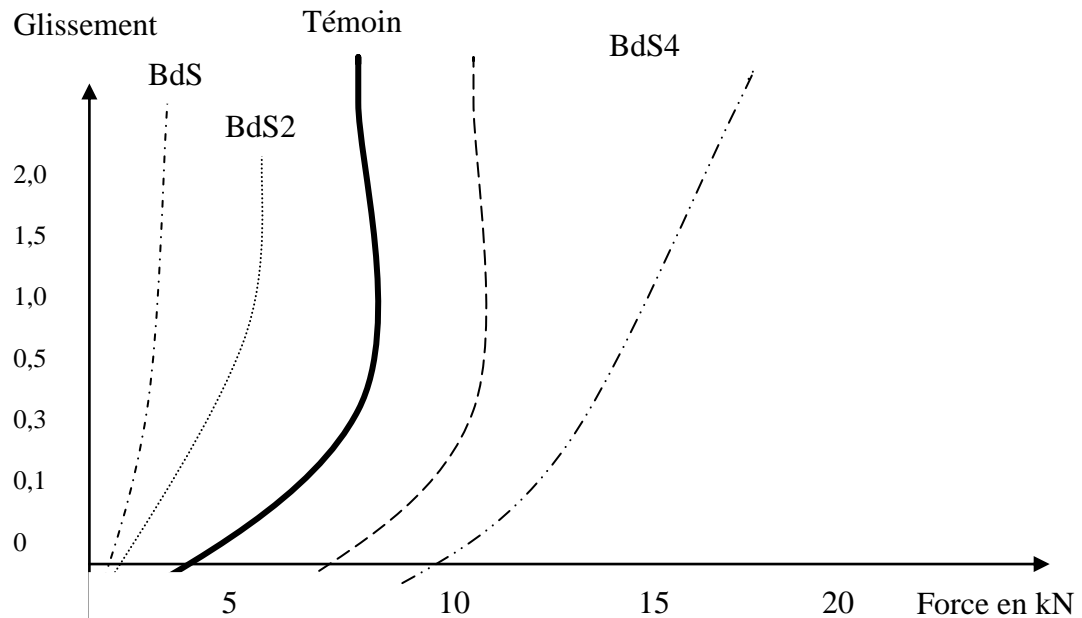
Une comparaison a été réalisée entre une formulation de béton de sable et un béton classique à l'aide d'un essai qui consiste à noyer une tige d'acier dans une éprouvette (H=32cm, Ø=16cm) et lui faire subir un effort de traction F à 28 jours.

On constate que le diamètre des aciers, la longueur d'ancrage et la nature de l'acier influent sur les efforts d'arrachement.



**Figure I.8 :** Effort d'arrachement en fonction de la longueur d'ancrage d'une tige lisse de diamètre  $\varnothing = 10$  mm [CNERIB ,1991]

L'adhérence béton de sable-armatures reste dans le domaine de l'acceptable, mais elle n'est comparable à celle des bétons classiques que dans le cas des aciers à faibles diamètres (figure I.9). La granularité du béton de sable n'est pas un élément essentiel, puisque, à même niveau de résistance, l'adhérence avec un sable dunaire homométrique a été supérieure à celle obtenue avec un sable alluvionnaire. [SABLOCRETE ,1994]



**Figure I.9 :** Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation [SABLOCRETE ,1994]

## II.5. PHENOMENE DE SEGREGATION

La ségrégation est définie comme la perte d'homogénéité d'un mélange à différents constituants. Les bétons de sable, caractérisés par leurs faibles étendues granulaires et donc

par leur plus grande homogénéité, présentent un meilleur comportement que les bétons traditionnels vis-à-vis des phénomènes de ségrégation. Cette faculté a pu être mise en évidence à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents, avec des plasticités et des modes de mise en œuvre variables [SABLOCRETE ,1994].

## **II.6. PHENOMENE DE RESSUAGE**

Le ressuage est le résultat d'un tassement progressif du béton frais, sous l'effet de son poids propre, après la mise en place et avant le début de prise. Une floculation modérée maintient les grains fins dans un état instable où la porosité de l'assemblage est supérieure à celle qui résulterait des simples contacts géométriques. Chaque fois qu'une liaison d'origine électrique est momentanément rompue, le grain libéré tombe vers une position plus stable et, ainsi de suite, la porosité du béton frais diminue et, par conséquent, le volume apparent [BARON J. et OLLIVIER J.P, 1999]. Un mélange de grains totalement défloculé, grâce à un superplastifiant, ne ressuage pas au sens ainsi décrit. Par contre, les grains indépendants sont susceptibles de sédimenter, chacun pour son propre compte, si le rapport E/C est élevé.

## **II.7. RESISTANCE AU GEL-DEGEL**

La résistance au gel est le pouvoir d'un matériau saturé d'eau de supporter les cycles gel-dégel alternatifs, sans risque apparent de destruction, ni perte sensible de résistance mécanique. Elle dépend de la densité et la porosité du mélange, du degré de saturation en eau et de la structure et des dimensions des pores qui sont les plus importantes.

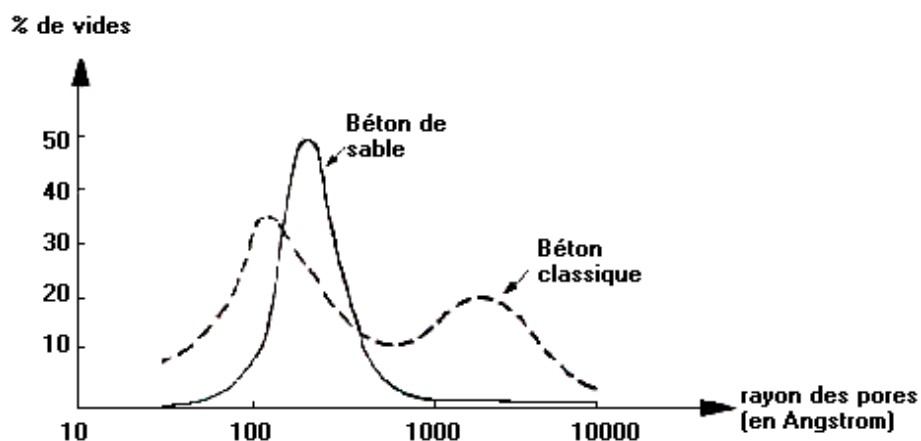
L'altération due au gel du béton n'apparaît que lors des dégels, car la résistance mécanique (traction et compression) d'un béton complètement gelé est très supérieure à celle du béton avant que le gel se manifeste. [DURIEZ M. et ARRAMBIDE J.1961].

C'est le cycle gel-dégel et l'état de fatigue qui s'ensuit (décollement des granulats de la pâte ou décollement des fers) qui causent le plus de dégâts. Il est par conséquent nécessaire de composer des bétons de sable à la fois avec le maximum de compacité et le minimum d'éléments fins et d'utiliser la technique du béton à entraînement d'air surtout si on associe à l'entraîneur d'air, un plastifiant et un accélérateur de prise.

## **II.8. DURABILITE DES BETONS DE SABLE**

La durabilité d'un béton est définie comme étant le pouvoir de résister à l'action commune des facteurs atmosphériques et autres (variations de températures ou d'humidité, l'action du

gel, etc.). Par convention, la durabilité d'un béton est reliée à ses capacités d'échange avec le milieu extérieur [SABLOCRETE, 1994].



**Figure I.10 :** Courbe de distribution de la porosité en fonction du rayon des pores  
[SABLOCRETE, 1994]

De ce fait, il est évident que les paramètres, tels que porosité, organisation géométrique des pores et perméabilité, sont des paramètres physiques de premier ordre de la durabilité. De même les phénomènes internes, tels que l'alcali réaction ou l'attaque sulfatique différée sont aussi des processus d'altération du béton accélérés par les échanges hydrauliques avec le milieu extérieur. La tenue d'un béton vis-à-vis des phénomènes d'échange dépend aussi de l'environnement de celui-ci, raison pour laquelle l'estimation de la durabilité s'effectue généralement par un ou plusieurs essais selon l'environnement prévisible du matériau (milieu marin, montagneux, urbain, etc.). Ces essais de durabilité, dont le but est de qualifier le béton vis-à-vis des agressions physiques, physico-chimiques et chimiques qu'elles soient d'origine interne ou exogène, sont généralement des essais accélérés qui permettent d'obtenir rapidement des informations comparatives. D'une façon générale, les bétons de sable sont plus poreux que les bétons traditionnels ; s'ils ont davantage de vides, la taille et le nombre de ces vides se distinguent de ceux du béton traditionnel ; ils sont plus nombreux, plus petits et davantage monodimensionnels. Leur nombre plus élevé entraîne une probabilité de colmatage plus fréquente et plus aisée, compte tenu de leur faible taille (figure I.10).

## II.9. PRINCIPAUX ESSAIS SUR BETON DE SABLE FRAIS

### II.9.1. MALAXAGE

Le malaxage a une influence essentielle sur les caractéristiques des mortiers et des bétons. Plusieurs variables peuvent intervenir sur cette opération dont les principales sont :

- Le type de malaxage : le meilleur est celui qui assure au mélange un déplacement des matériaux les uns par rapport aux autres (palette, cuve tournante, etc.) où seule l'action de la pesanteur est utilisée.
- La durée du malaxage : que ce soit pour des bétons de sable, ou pour tout béton, doit être suffisante pour obtenir l'homogénéité des constituants. Il est même déconseillé d'augmenter cette durée, car un entraînement d'air peut en résulter avec les conséquences qui en découlent (microbullage interne, réduction des performances, etc.).
- La vitesse de malaxage : le malaxage doit être rapide et les vitesses communiquées aux particules aussi grandes que possible pour mobiliser les grains du mélange.

La qualité du béton dépend beaucoup plus de l'homogénéisation du compound, non seulement au stade macroscopique, mais également au stade microscopique. Les constituants actifs (ciment+ fines) doivent être introduits en dernier dans les mélangeurs, immédiatement avant mise de l'eau. Il faut qu'ils soient bien répartis entre et autour de tous les grains de sable. Une stabilité du mélange parfaitement homogénéisée, est favorable non seulement au point de vue de la maniabilité mais aussi au point de vue résistance qui, après prise et durcissement, sera uniformément répartie dans toute la masse.

### **II.9.2. SERRAGE DES BETONS DE SABLE**

Cette opération consiste à accroître la compacité du béton de sable frais et de maintenir sa cohésion lors de sa mise en place. Plusieurs techniques peuvent être utilisées : damage, picage, compression et vibration. Cette dernière semble la plus efficace pour les bétons, elle s'effectue par la paroi des moules et des coffrages, et sert à diminuer le frottement interne entre grains eux-mêmes, grains-paroi du moule et grains-armatures pour les bétons armés. Elle diminue la teneur en air et augmente la fluidité du béton, ce qui permet une mise en place facile.

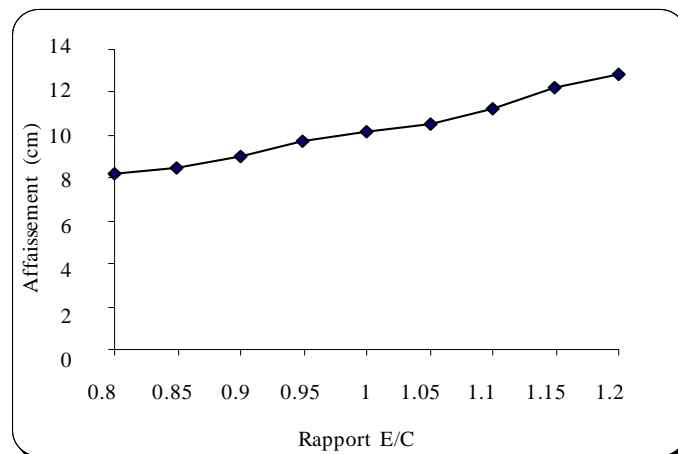
### **II.9.3. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION**

La dessiccation est l'action d'enlever au béton durci l'humidité qu'il renferme suite à un séchage naturel qui débute dès qu'une surface est soumise à une humidité relative externe inférieure à celle régnant dans le réseau poreux. Le flux d'humidité, qui entraîne une évaporation de l'eau à la surface (départ de l'eau vers l'extérieur), est induit par le déséquilibre d'humidité relative qui va engendrer une perte relative de masse et une apparition des micro-fissures à la surface du béton. La cure des surfaces du béton est réalisée soit par humidification, soit par application d'un produit de cure (adjuvant) ou d'une feuille de matière plastique.

### II.9.4. LA MANIABILITE

Une formulation assurant une bonne maniabilité facilite la mise en œuvre, ce qui augmente la compacité et par conséquent la résistance. La maniabilité est donc l'une des caractéristiques de grande importance, elle dépend essentiellement de la qualité et de la quantité d'eau utilisée. Pour le cas des bétons de sable, le rapport E/C est nettement supérieur à celui des bétons classiques (entre 0.6 et 0.7). L'utilisation des adjuvants est donc imposée.

- *Effet des fines d'ajouts sur la maniabilité* : la maniabilité dépend de la nature et de la proportion des fines incorporées. Généralement, si on augmente le dosage en fines d'ajout, la compacité s'améliore. Dans ces conditions pour le cas des bétons de sable, au lieu du rapport E/C utilisé habituellement, on emploie le rapport E/(C+A) qui intègre le dosage en fines (A), ce qui nécessite l'augmentation du dosage en eau. Aussi, selon la porosité du sable, on pourra avoir un dosage optimal en filler qui nous donnera une meilleure maniabilité.
- *Effet du rapport E/C* : le rapport E/C joue un rôle très important, comme pour tous les autres types de béton. D'après la figure ci-dessous, la maniabilité des bétons de sable augmente considérablement si on augmente E/C (ou E/(C+A)).



**Figure I.11:** Influence du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire

[ISMAIL. M.BUDAIWI, 2007]

### II.9.5. ESSAI DE PRISE

Des phénomènes chimiques, physico-chimiques et mécaniques interviennent dans les premières heures qui suivent le gâchage. Leur manifestation la plus importante est la prise : c'est la propriété qu'ont les liants hydrauliques de passer d'une consistance fluide à une consistance solide quand ils sont associés à l'eau. Le temps de prise, qui est le temps écoulé entre la fin de gâchage et le début de prise, est mesuré à l'aide de l'aiguille de Vicat. On dit qu'il y a 'début de prise' lorsque l'aiguille n'est pas capable de transpercer la totalité de la

pâte mais s'arrête au moins à 2,5 mm du fond du moule : des aiguilles d'ettringites apparaissent [SAUTEREY R. et BARON J. 1982].

La 'fin de prise' se situe au moment où l'aiguille de Vicat s'arrête à 2,5 mm du niveau supérieur, une faible quantité de l'anhydre a été hydraté et la résistance en compression continue à accroître au fur et à mesure que l'hydratation progresse.

### **II.9.6. ESSAI SUR LA MASSE VOLUMIQUE**

Effectuée sur du béton frais, la masse volumique est la masse d'un échantillon de ce béton occupant l'unité de volume, tous vides inclus.

Cette caractéristique est très importante, elle indique la qualité en termes de compacité et par conséquent en termes de résistance mécanique. Les mélanges dont la masse volumique est relativement grande ont des résistances élevées. La masse volumique des bétons de sable de dune varie autour de  $2100 \text{ kg/m}^3$  [GUENNOUN. R, 2003], contre une masse volumique de  $2500 \text{ kg/m}^3$  pour les bétons classiques.

### **II.10. DOMAINE D'EMPLOI DES BETONS DE SABLE**

La plupart des applications actuelles du béton de sable tiennent davantage à ses propriétés spécifiques, par rapport au béton traditionnel, qu'à l'économie qu'il pourrait représenter en remplaçant celui-ci [CHAUVIN J.J. et GRIMALDI G. 1988].

Pour ses qualités d'ouvrabilité (bon garnissage des moules, bon enrobage des aciers même en cas de ferrailage dense), son absence de ségrégation et principalement sans doute pour ses qualités d'aspect qui autorisent de séduisants effets architectoniques.

#### **II.10.1. LES BETONS NON VIBRES**

Ces bétons sont souvent des bétons fluides utilisés notamment, lorsque la vibration est impossible, pour la fabrication des pieux forés et la réalisation de dallages autocompactants ou autonivelants.

#### **II.10.2. LES BETONS PROJETES**

Ils se sont révélés particulièrement intéressants, techniquement et économiquement, et se prêtent au renforcement de structure par projection, exemple :

- la réhabilitation de collecteurs d'assainissement,
- la stabilisation de parois ou talus.

### II.10.3. LES TRAVAUX D'INJECTION

A cause de sa petite granularité et sa maniabilité, le béton de sable est favorable aux techniques de reprise en sous-œuvre par injection ou coulage gravitaire :

- le comblement de cavités,
- la réparation de fondation et renforcement d'ouvrages portuaires.

### II.10.4. LA PREFABRICATION D'ELEMENTS DESTINES A RESTER APPARENTS

Le souci esthétique est de plus en plus pris en compte dans toutes les constructions ; les bétons de sable permettent la réalisation d'effets architectoniques tant sur la forme que sur l'aspect.

### II.11. DESIGNATION D'UN BETON DE SABLE

La désignation abrégée dans laquelle le symbole «**BS**» signifie «béton de sable » respecte toutes les spécifications des caractères normalisés et les éventuels caractères complémentaires définis à la commande ; ce symbole est suivi d'une classe de résistance caractéristique en MPa et de classe d'ouvrabilité.

Pour un béton de sable chargé, la granularité de la charge n'est indiquée qu'en caractère complémentaire. On a par exemple :

- **BS 15- TP – NA- CPJ45** : Désigne un béton de sable sans gravillon, de classe de résistance 15 MPa, de consistance très plastique, non armé et confectionné avec un ciment de type et de nature CPJ 45.
- **BS 25 3/8- FL- BA** : désigne un béton de sable chargé par un granulat 3/8, de classe de résistance 25 MPa, de consistance fluide, béton armé

## III. BETONS LEGERS

### III.1. INTRODUCTION

Les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique est apparente inférieure à 1800 kg/m<sup>3</sup> [CORMON.P, 1973]. Ils peuvent être constitués de granulats légers ou « normaux » avec une matrice à base de liants hydrauliques ou résines synthétiques (époxyde, mousse de poly méthane, etc.). L'allègement peut également être obtenu par création d'une structure cellulaire. Certaines catégories subissent des traitements à haute pression et température pour atteindre les caractéristiques requises. La première qualité du béton léger est sa *légèreté*. En effet ces bétons peuvent, dans des cas particuliers, apporter une solution économique

intéressante à un problème de fondation ou à des problèmes de dimensionnement. La légèreté du béton peut donc permettre des économies considérables et des diminutions des prix de revient. Les bétons légers ont aussi la qualité d'être des isolants thermiques. Cette caractéristique influe directement sur la notion de confort, mais elle entraîne aussi des implications économiques tel que la simplification des éléments de construction et peut apporter également des économies de chauffage et de rafraîchissement des locaux. Les bétons légers ont une très bonne résistance au feu, du fait des qualités thermiques du matériau et de la chute relativement lente des propriétés mécaniques en fonction de la température.

### **III.2. CLASSIFICATION DES BETONS LEGERS**

La classification des bétons légers est basée essentiellement sur les compositions et l'utilisation du béton [CORMON.P, 1973].

#### **III.2.1. CLASSIFICATION BASEE SUR LA COMPOSITION**

##### **III.2. 1.1. LES BETONS CAVERNEUX**

Les bétons cavernaux sont des bétons constitués d'un squelette de granulats légers ou non ayant sensiblement la même grosseur et d'un liant assurant l'enrobage et le collage des grains entre eux. En fait, il s'agit de bétons dont on a supprimé tout ou une partie des éléments fins et du liant correspondant servant à leur enrobage. Le but recherché, un matériau économique, un gain de légèreté et une bonne isolation thermique.

##### **III.2.1.2. LES BETONS CELLULAIRES**

Dans le cas des bétons cellulaires, on génère dans une pâte de nature hydraulique des petites bulles d'air ( $\emptyset \cong 1\text{mm}$ ) ou d'un gaz spécial, pour former une structure cellulaire après le séchage [NEVILLE.M, 2000]. Il existe deux principales méthodes pour créer la structure cellulaire, la première consiste en une réaction chimique dans la masse, la deuxième utilise un agent moussant, d'où la division en deux catégories : le béton gaz et le béton mousse. Le but recherché est d'avoir une très grande légèreté, très bonne isolation thermique et une grande résistance au feu.

##### **III.2.1.3. LES BETONS DE GRANULATS LEGERS**

Dans les bétons de granulats légers, les granulats normaux sont remplacés par des granulats légers, présentant une structure alvéolée ou cellulaire. Le but recherché est la légèreté mais surtout de bonne résistance mécanique. Parmi ces granulats, on trouve :

1. granulats minéraux naturels préparés et non préparés,

2. granulats artificiels préparés et non préparés,
3. matériaux organiques.

### **III.2.2. CLASSIFICATION BASEE SUR L'UTILISATION**

#### **III.2.2.1. LES BETONS DE REMPLISSAGE**

Leurs masses volumiques sont faibles et comprises entre 300 et 1000 kg/m<sup>3</sup>, ils sont non ou peu porteurs, leurs contraintes en compression sont souvent faibles. Ils sont en général de bons isolants thermiques, leur constitution est d'ailleurs souvent caverneuse ou cellulaire. On les utilise donc principalement pour le remplissage de murs non ou peu porteurs, pour la fabrication de formes de pente de toiture -terrasses et d'éléments manufacturés.

#### **III.2.2.2. LES BETONS PORTEURS ET ISOLANTS**

Leur masse volumique est comprise entre 1000 et 1400 kg/m<sup>3</sup>. Ils présentent des caractéristiques mécaniques nettement meilleures à celles des bétons précédents. Les qualités isolantes de ces types de bétons sont naturellement inférieures mais suffisantes pour assurer le confort thermique sous certaines épaisseurs. On les utilise principalement pour la fabrication des pièces préfabriquées (panneaux, dalles,...) ou murs banchés.

#### **III.2.2.3. LES BETONS DE STRUCTURE**

Leur masse volumique est comprise entre 1400 et 1800 kg/m<sup>3</sup>. Dans cette classe, figurent les bétons destinés à être armés ou précontraints pour la constitution de structures. Ils présentent des résistances mécaniques importantes qui peuvent être du même ordre que celles des bétons pleins normaux, leur isolation thermique est relativement faible.

### **III.3. CARACTERISATION PHYSICO-MECANIQUES DES BETONS LEGERS**

#### **III.3.1. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE**

C'est la caractéristique principale d'un béton léger. En effet pratiquement tout dépend d'elle, que ce soit les propriétés mécaniques, les propriétés thermiques ou même certaines variations dimensionnelles. Elle est inférieure à 1800 kg/m<sup>3</sup>.

#### **III.3.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION**

La résistance à la compression est souvent considérée comme la plus représentative et la plus utilisée comme point de repère et de comparaison. Les résistances à la compression des bétons légers peuvent atteindre 500 et même 600 kg/cm<sup>2</sup>, on peut donc dire qu'ils couvrent la

même plage de valeurs que les bétons normaux. Elles seront plus ou moins importantes en fonction de la nature et du dosage des constituants, ainsi que le traitement du béton.

### III.3.3. MODULE D'ELASTICITE

Le module d'élasticité des bétons légers est fonction de leurs masses volumiques apparente et leur résistance à la compression. La formule retenue pour les calculs est d'après [RILEM,1970]

$$E_b = \delta_b \cdot 6000 \cdot \sigma_{jm} \dots \dots \dots (1.1)$$

Avec :  $\delta_b$  masse volumique apparente du béton en  $t/m^3$

$\sigma_{jm}$  résistance à la compression du béton sur cubes en  $kg/cm^2$  à (j)jours.

Le tableau ci- dessous donne quelques valeurs pour différents types de bétons légers.

**Tableau I.1** : Module d'élasticité de quelques types de bétons légers [RILEM, 1970]

Type de béton	$E_b$ ( $kg/cm^2$ )
Béton de ponce	30 à 70 000
Béton de laitier expansé	40 à 125 000
Béton de laitier expansé + sable	70 à 170 000
Béton d'argile ou schiste expansé	60 à 220 000
Béton de perlite	10 à 30 000
Béton de vermiculite	8 à 17 000
Béton cellulaire autoclave	17 500
Béton de cendre volante frittée	100 à 220 000

### III.3.4. CISAILLEMENT

Comme pour les modules d'élasticité, les valeurs du cisaillement sont plus faibles que pour les bétons normaux. La plupart des valeurs se situent à 60 % de celles des bétons normaux pour des résistances à la compression comparables, cela s'explique par la faible résistance des granulats légers [NEVILLE.M, 2000].

### III.3.5. VARIATIONS DIMENSIONNELLES

Le problème du retrait de fabrication et des variations dimensionnelle post-fabrication des bétons légers a toujours été l'une des préoccupations essentielles des entreprises et des

bureaux de contrôle, car ces phénomènes risquent de se traduire par l'apparition de fissures nuisant à la qualité finale des constructions.

### III.3.5.1. RETRAIT DE FABRICATION

Le retrait de fabrication est le résultat du phénomène de prise et de durcissement des bétons, lié à celui de l'évacuation d'une certaine quantité d'eau comprise dans ces bétons. Il se traduit par une diminution parfois importante des côtés des pièces fabriquées et quelque fois par une déformation (torsion, vrillage).

D'après le tableau I.2, il se montre que les bétons légers, à l'exception des bétons caverneux, subissent plus de retrait que les bétons normaux : environ le double, il peut atteindre 0.5 à 1 mm et même quelque fois 5 mm/m pour certains d'entre eux.

**Tableau I.2:** Variations dimensionnelles de bétons légers [CORMON.P, 1973]

<i>Type de béton</i>	<i>Retrait de fabrication (mm/m) conditions normales</i>	<i>Variations dimensionnelles (mm/m) Après stabilisation</i>
Bétons normaux pleins	0.30 à 0.50	0.20 à 0.35
Bétons normaux caverneux	0.20 à 0.30	0.15
Bétons d'argile expansée	0.40 à 0.70	0.20 à 0.40
Bétons de schiste expansé	0.35 à 0.90	0.20 à 0.30
Bétons de Mâchefer	0.40 à 1.20	0.30 à 0.40
Bétons de cendres volantes frittés	0.20 à 0.85	0.30
Bétons de granulats végétaux (sciures, liège, etc.)	5 et plus -	- -
Bétons de ponce	0.60 à 1.30	0.50
Bétons cellulaires crus	4	-
Bétons cellulaires autoclaves	0.50 et plus	0.36 à 0.45

Les variations dimensionnelles hygrothermiques dépendent des conditions de température et d'hygrométrie, mais aussi comme le retrait, elles dépendent essentiellement des caractéristiques du matériau, et même si elles sont réversibles, il faut tenir compte de leur importance dans la conception des ouvrages (par exemple: longueur des murs à ne pas dépasser pour éviter des fissurations) [CORMON.P, 1973].

### III.3.5.2. FLUAGE

C'est une caractéristique importante, car elle peut entraîner de graves conséquences si l'on n'en tient pas compte, on risque donc des pertes de précontraintes (jusqu'à 25 %), des excès de flèches, etc. On doit donc prévoir à l'aide d'essais, le comportement des ouvrages et son évolution dans le temps. En définitive, pour donner un ordre de grandeur, on peut

prendre le coefficient admis par le comité européen du béton le **C.E.B**, ce coefficient est le suivant : Fluage béton léger  $\cong$  1.3 à 1.6 fois fluage béton normal. En ce qui concerne les bétons légers, leur fluage est plus élevé que celui des bétons normaux [CORMON.P, 1973].

### III.3.6.ASPECT ACOUSTIQUE

L'isolation acoustique obtenue par des parois homogènes en béton léger, est avant tout, une question de poids et d'imperméabilité à l'air. Certaines parois en bétons pleins de granulats légers, complétées par des enduits étanches, peuvent avoir des performances acoustiques supérieures à celle prévues par la « loi de masse ». Cette amélioration se manifeste pour des épaisseurs supérieures à 15 cm [STEOPOE.A, 1970].

## III.4. CARACTERISATION THERMIQUE DES BETONS LEGERES

### III.4.1. CONDUCTIVITE THERMIQUE

L'intérêt des bétons légers dans ce domaine, est de pouvoir satisfaire, non seulement aux exigences thermiques, mais de pouvoir en même temps présenter des résistances mécaniques acceptables. Toutefois, il faut signaler que ces bétons contiennent généralement beaucoup d'eau au moment de leur fabrication ou de leur mise en œuvre, cette eau peut demander plusieurs mois, voire plusieurs années pour s'évacuer ; tout dépend bien sûr du climat et des possibilités de séchage par le chauffage. Les coefficients d'isolation prévus risquent donc de ne pas être atteints dans les premiers âges.

### III.4.2. COEFFICIENT DE DILATATION

Dans le cas des bétons légers, ces coefficients se trouvent plus faibles que ceux des bétons normaux et la valeur moyenne se situe entre 7 et  $9 \cdot 10^{-6} \cdot 1/C^{\circ}$

**Tableau I.3:** Coefficient de dilatation de quelques types de bétons légers [CORMON.P, 1973]

<i>Type de bétons</i>	<i>Coefficient de dilatation en <math>10^{-6}/C^{\circ}</math></i>	
	<b>Aux températures normales</b>	<b>Aux hautes températures</b>
- Laitier expansé	7 à 12	6 à 11
-Argile et schiste expansés	5 à 8	4 à 5
- Ponce	10	8 à 9
- Pouzzolane	7	5

### **III.5.DURABILITE DES BETONS LEGERS**

L'utilisation des granulats légers n'affecte pas la durabilité à long terme du béton. En effet, la porosité des granulats est généralement discontinue et n'influence pas sur la perméabilité du béton. Cette propriété est plutôt contrôlée par la pâte de ciment durcie et par la qualité des interfaces pâte- granulats. La résistance au gel et à l'écaillage du béton est obtenue en combinant des granulats et une matrice de qualité. Bien que les granulats légers soient très absorbants, ils sont néanmoins très durables vis-à-vis du gel. Comme dans les bétons ordinaires, l'air entraîné permet de protéger efficacement le matériau contre le gel et l'écaillage [RILEM, et STEOPOE.A, 1970].

La composition minéralogique des granulats légers manufacturés, obtenus par des procédés de fabrication à très haute température, donne aux granulats une bonne stabilité face aux attaques chimiques. Le bon choix du type de ciment et du rapport eau/ciment est cependant essentiel pour assurer la durabilité des bétons légers face aux agressions chimiques.

## **IV. GRANULATS DE BOIS**

### **IV.1.BOIS NATUREL**

Les arbres indigènes se classent en deux groupes bien définis : les résineux et les feuillus. D'une façon générale, les résineux, comme le sapin, l'épicéa les pins, etc. ne présentent pas de problème d'emploi particulier. D'autre part les feuillus, comme le chêne ou le châtaignier renferment des produits extraits à l'eau, appelés tanins, qui seraient très néfaste à la fabrication du béton de bois. Par contre, d'autres feuillus comme le hêtre peuvent être utilisés sans réserve [PIERRE P, 1994].

Le bois naturel est une matière tout à fait complexe, comparée au plastique ou aux métaux. Selon les espèces du bois, sa masse sèche est composée principalement par trois structures de polymères naturels, qui sont la cellulose (entre 45 et 50 %), l'hémicellulose (entre 20 et 35 %) et la lignine, qui donne la rigidité du bois (entre 27 et 37 %) pour les bois tendres, par exemple le sapin, pin, etc. et (entre 16 à 29 %) pour les bois durs, par exemple, le hêtre, etc. Le reste (extractives) consiste en produits de l'extractable comme terpènes, cires, tanins, sels minéraux, etc. [PASCAL HAYOZ.2003].

#### **IV.1.1. STRUCTURE ET COMPOSITION CHIMIQUES DU BOIS**

Le bois est un matériau fibreux. Ses fibres sont constituées de cellules allongées, de 1 à 3 mm de long et d'environ 0.02 mm de large. Elles sont disposées parallèlement à l'axe du tronc, ce sont elles qui donnent la résistance au bois : celui-ci sera d'autant plus résistant que la densité

de fibres sera plus grande. En fait, et pour bien comprendre le comportement mécanique du bois, ainsi que son comportement hygroscopique, nous devons établir une description à différentes échelles de structure. Un bref rappel des éléments constitutifs du bois résineux, basé sur les travaux de **Dinwoodie** (1981) et **Tsoumis** (1991), est présenté dans la suite.

Le bois est composé de matières organiques (carbone : 50 %, oxygène : 43 %, hydrogène : 6 % et azote : 1 %), de cendres (0,5 à 1,5 %) et de l'eau (dont la proportion peut atteindre 100 % du poids du bois sec) [**PIERRE. P**, 1994].

#### **IV.1.2. LE BOIS ET SA VISION DURABLE**

Du point de vue développement durable, les forêts ont deux rôles importants, le premier est l'absorption du gaz carbonique dans l'air, le second est de fournir une provision soutenue de bois comme une ressource industrielle d'énergie renouvelable [**YOSHIHIRO.O**, 2006]. De plus, le bois recyclé a deux fonctions importantes pour le développement durable : il forme une ressource industrielle et en même temps un moyen de plus long stockage qui fixe le gaz carbonique. Donc, prolonger la durée de vie de la matière en bois en recyclant les déchets de bois est une approche importante contre le réchauffement de la planète [**YOSHIHIRO.O**, 2006].

Toute fois, le coût bas, la proximité des sources et la protection de l'environnement encouragent la réutilisation de ces déchets. Beaucoup de recherches ont été menées sur le recyclage des déchets de bois, dans le but d'améliorer l'isolation thermique, acoustique, résistance au feu, les revêtements, etc. [**COATANLEM.P**, 2006].

#### **IV.1.3. HUMIDITE ET DURABILITE DE BOIS**

L'une des propriétés physiques du bois est d'absorber l'eau ou l'humidité qui se trouvent placées à son contact, ce qui provoque une baisse d'isolation thermique et une perte de résistance. L'eau sert à une variété de fonctions dans le processus de la durabilité, c'est un réactif, un agent de gonflement et un moyen pour la diffusion des agents agressifs dans le bois. L'eau dans le bois peut être libre ou de constitution.

L'eau de constitution réagit réciproquement et chimiquement avec la paroi cellulaire et elle est plus difficile à enlever. Le point auquel l'eau libre est présente et occupe tous les sites dans la paroi cellulaire est appelé le niveau de saturation, qui est, pour la plus part des espèces, (entre 27 et 30 %). Au dessus de ce niveau, tout l'excès de l'eau présent est présumé pour être lié au bois. La plupart des organismes qui dégradent le bois exigent un degré d'humidité au dessus du niveau de saturation [**MORRELL. J.J.** 2002].

#### IV.1.4. PROPRIETES THERMO-PHYSIQUES DU BOIS

La conductivité thermique, la diffusivité thermique et la chaleur spécifique sont les trois paramètres importants qui gèrent les phénomènes de transfert de chaleur dans le matériau. Chacun de ces paramètres peut être mesuré par plusieurs méthodes; notons qu'avec la mesure de deux paramètres. Quelques propriétés thermo physiques de certains types de bois ont été portées sur le tableau (I. 4).

**Tableau I. 4 :** Propriétés thermo-physiques de quelques types de bois selon [CLAUDE A.1987]

Type de bois	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Chaleur massique (J/kg K)	Conductivité thermique (W/mK)
Sapin, Pin	520	0,60	0,14
Epicéa	480	0,60	0,14
Hêtre	730	0,60	0,17
chêne	750	0,60	0,21

#### IV.2.DIFFERENTS TYPES DE COPEAUX DE BOIS

Les copeaux de bois sont des granulats légers, dont certains sont commercialisés et d'autres issus des déchets industriels.

##### IV.2.1.COPEAUX DE BOIS COMMERCIALISES

La fabrication du béton de bois implique des réactions physico-chimiques complexes. Celles-ci entraînent, pour le fabricant, des difficultés qui concernent notamment la maîtrise des vitesses de prise et l'obtention de variations dimensionnelles des produits finis suffisamment faibles. Ces propriétés sont essentiellement liées à la qualité des granulats (choix du bois et traitement). Dans ce contexte, quelques granulats sont recensés :

##### a) L'Agresta

C'est un granulats de bois obtenu à partir de déchets de bois traités thermiquement, puis imprégnés de chlorure de calcium puis de silicate de potassium (Brevet français n° 8102941) [PIERRE P.1994].

##### b) Le Silwood

Il consiste en l'enrobage des granulats par de la micro-silice dont le rôle serait de limiter les reprises d'eau lors de l'hydratation de ciment d'une part, et de neutraliser les interactions chimiques entre le bois et le ciment qui sont à l'origine des effets inhibiteurs de prise [PIERRE P.1994].

**c) La chènevotte**

Il existe en deux versions : Isochanvre Construction et Isochanvre Isolation. Ces granulats sont incorporés dans une matrice à base de chaux et mis en œuvre par banchage [PIMENTA.P, 1994].

**d) Les copeaux d'épicéa**

Ce sont des granulats de bois de dimensions comprises entre 3 et 8 mm, ayant subi des traitements thermiques et physico-chimiques (Brevet Français n° 810294). Ces traitements confèrent aux granulats de bois une structure microporeuse [BOUGUERRA.1999].

**e) Agreslith**

Obtenus à partir de bois d'épicéa ayant subi des traitements mécaniques et physico-chimique. Les propriétés thermo-physiques sont: la masse volumique ( $255 \text{ kg/m}^3$ ), l'absorption d'eau (120 %), la conductivité thermique ( $0,07\text{W/mK}$ ) [BOUGUERRA.1999].

**f) Lithophore**

Constitué de liège torréfié et produit en Espagne [PIERRE P.1994].

**IV.2.2. DECHETS DE BOIS**

Les déchets de bois, qui sont valorisables, constituent une nouvelle matière première ayant le nom de co-produit. Ils peuvent se présenter sous les trois formes [Doc Internet] suivantes:

- 1) Chute de bois (sciage / découpe),
- 2) Copeaux /sciure de bois (rabotage / perçage),
- 3) Chute de panneaux (découpes).

D'après la littérature, les déchets de bois sous forme de copeaux, (sciure obtenus par rabotage ou perçage), peuvent être utilisés sans traitement [GOTTEICHA.2005, LEDHEM.1997, BEDERINA. M. 2007].

**IV.3. TRAITEMENT DE COPEAUX DE BOIS**

Afin de résoudre les difficultés posées par le bois lors de son utilisation directe en tant que granulats légers dans les composites comme les bétons de bois, le recours à un traitement s'avère nécessaire vu la nature fortement hygroscopique des copeaux de bois. Dans ce contexte les différents traitements connus, commercialisés ou non, peuvent être classés en grandes catégories comme suit :

### **IV.3.1. TRAITEMENT PHYSIQUE**

Ce sont des traitements d'interface dont le but principal est de limiter les transferts d'eau avec le milieu extérieur tout en laissant le granulat chimiquement identique. Ils sont accompagnés d'une imprégnation plus ou moins légère du bois. En effet, les traitements physiques existants sont de plusieurs types :

#### **a) Le gonflement**

C'est un remplissage des vides cellulaires du bois au moyen des techniques d'imprégnation vide-pression [BOKER S.1974, YAMAGISHI.K. 1980].

#### **b) L'enrobage superficiel**

Celui-ci permet d'isoler le matériau bois et de le rendre inerte vis-à-vis des agents extérieurs. Le traitement par enrobage, en particules minérales, avec une présence d'une couche d'enrobage a une importance prépondérante dans la réduction du retrait. A noter que le traitement par un lait de chaux est plus efficace que le traitement au lait de ciment [GOTTEICHA, 2005 et LEDHEM, 2000].

### **IV.3.2.TRAITEMENT THERMIQUES**

Le but essentiel des traitements thermiques est de modifier la structure chimique du bois par action de la chaleur qui va permettre le départ de l'eau, du gaz carbonique et de l'acide acétique [PIERRE. P,1994].Un des traitements thermiques est la torréfaction où on distingue trois zones dans les courbes de la perte du poids de bois [MARK. J,2006]:

- 1) L'hémicelluloses, constituants du bois les plus sensibles à la chaleur, se décomposent à une température de (225 à 325 °C).
- 2) La cellulose se décompose à une température de (305 à 375 °C).
- 3) La lignine se décompose progressivement sur une température de (250 à 500°C).

### **IV.3.3. TRAITEMENT CHIMIQUE**

Le but de ce traitement est de remplacer les groupements hydroxyles (responsables de l'hygroscopicité du bois) par d'autre groupement chimiques plus hydrophobes. Plusieurs travaux ont été réalisés, en utilisant ce traitement, dans le monde. Par exemple une combinaison entre l'oxyde de propylène et un disocyanate a été étudiée par [GUEVARA.1983] avec des résultats significatifs pour les reprises d'eau et la stabilité dimensionnelle.

D'autres moyens ont été mis en œuvre pour bloquer chimiquement les groupes O-H par l'estérification par des anhydrides d'acide. Enfin, le bois peut être rendu flamme retardée en

utilisant des additifs comme sels du phosphate, polyphosphate de l'ammonium [RALPH STEVENS.2006].

#### IV.3.4. TRAITEMENT MIXTE

Ces traitements font appel à plusieurs techniques, nous pouvons citer à titre d'exemple, le traitement mixte hydrolyse à l'eau bouillante et enrobage par un lait de chaux ou de ciment, qui permettaient une minimisation importante du retrait du composite [LEDHEM. 2000]. D'autres techniques consistent, généralement, à traiter thermiquement puis chimiquement les particules afin de leur donner certaines propriétés (préservation, isolation). Les produits employés pour ce type de traitement sont des sulfates de sodium, chlorures de calcium, carbonate de chaux ou des agents tensioactifs comme les dérivés sulfonés [RAMIO .K, 1962].

### V. BETON DE BOIS

#### V.1.GENERALITES SUR BETON DE BOIS

Les bétons de bois appartiennent à la famille des bétons légers dont la classification est proposée par **Lafarge Bétons Granulats** [PIMIANTA P. et AL, 1994].

**Tableau I. 5** : Caractéristiques des bétons de bois [PIMIANTA P. et AL, 1994].

	<b>Rc</b> (MPa)	<b>ρ</b> (kg/m <sup>3</sup> )	<b>ΔL/L</b> (%)	<b>λ</b> (W/m.K)	<b>Rf</b> (MPa)
<b>Valeur-Cible Aliment 2002</b>	3.5 - 4	600 – 900	< 1		
<b>NF P14-304</b>	2.5 – 7	< 1700	< 0.45	>0.16	0.5-1.16
<b>NF P14-306</b>	3 – 7	400 – 800	< 0.45		
<b>Règle d'Agrément (1958)</b>	> 0.65	> 450	L < 4 H < 12		
<b>Agresta</b>	2.5 – 4 2.5 - 4	500 – 700 600 – 800 1250	4.5 1.37	0.11–0.16	1.2-1.9
<b>Granuland Mortier</b>	3.3	800 700	4.9	0.22 0.15	
<b>Fixolite</b>		480	7	0.11 0.14	
<b>Lithophore</b>	> 1.3	950	< 0.9	0.27	

Les premières codifications de cette filière remontent, en effet, à la fin des années cinquante. Les années soixante ont vu la réalisation d'un grand nombre d'ouvrages en béton de

bois, principalement des murs extérieurs en petits éléments de maçonnerie, surtout en France et en Suisse. Le terme Béton de bois désigne des matériaux composites généralement constitués par une matrice minérale, éventuellement adjuvanté, et de granulats végétaux. Ces granulats végétaux ont des granulométries comparables à celles des granulats traditionnels avec, toutefois, des limites granulaires inférieures en ce qui concerne les plus gros grains [BOUGUERRA.1996].

Les intérêts des bétons de bois présentent des atouts non négligeables à savoir :

- 1) La valorisation des déchets de bois, en particulier ceux de certaines essences non utilisables pour la fabrication du papier,
- 2) l'isolation thermique associée à des résistances mécaniques satisfaisantes,
- 3) l'inertie thermique contribuant au confort thermique,
- 4) l'absorption acoustique.

Le défaut majeur que présente un béton de bois est son retrait important. Ce fut, pendant longtemps, le reproche essentiel que l'on faisait aux bétons légers et en particulier aux bétons de bois [LEDHEM.1997].

## **V.2. TYPE DE MATRICE MINERALE**

Différents types de matrices ont été utilisés pour la fabrication des bétons de bois :

### **V.2.1. MATRICE A BASE DE CIMENT**

La liaison ciment/granulats de bois dépend de la nature du ciment utilisé ainsi que du phénomène de pénétration du mélange matriciel dans les pores et les canaux du bois [SCHWART. L, 1983 et PARAMESWAREN. 1977].

### **V.2.2. MATRICE A BASE DE PLATRE**

L'hydratation peut être retardée par certaines essences de bois en raison de la présence de tanins hydrolysables et d'acides aminés [SIMATUPANG.M. H.1988]. Le principal défaut des composites bois-plâtre est leur comportement en présence de l'humidité : baisse des propriétés mécaniques liée à un relâchement de la cohésion cristalline [LEDHEM.1997].

### **V.2.3. MATRICE A BASE DE CEMENTS MAGNESIENS**

Les ciments magnésiens ont des propriétés mécaniques très élevées, mais restent, quelle que soit leur composition, sensibles à l'eau. De plus, leur prise peut également être retardée par les extraits phénoliques [LEDHEM.1997].

#### **V.2.4. MATRICE A BASE DE LAITIER**

Il s'agit d'un procédé développé en Finlande par [Aho W. Y]. Utilisant le laitier de haut fourneau dont les caractéristiques hydrauliques sont activées par une solution de soude et de silicate de sodium. La qualité du bois serait moins importante que dans le cas des autres matrices et il faut surtout signaler le prix très bas du laitier qui est un sous produit.

#### **V.2.5. MATRICE A BASE DE CHAUX**

Il s'agit d'un mélange de chaux aérienne et de chaux hydraulique dans des proportions variables suivant les caractéristiques mécaniques souhaitées au jeune âge. L'étude des caractéristiques mécaniques, thermiques et acoustiques de ce matériau, au laboratoire, a montré l'intérêt d'un tel matériau [LEDHEM.1997].

### **V.3. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BETON DE BOIS**

#### **V.3.1. PERFORMANCES ACOUSTIQUES**

Les performances acoustiques présentées par les bétons de bois se révèlent particulièrement intéressantes du point de vue de l'absorption acoustique [PIMIENTA.P,1994].

#### **V.3.2. CONDUCTIVITE THERMIQUE**

Les murs en blocs de composite ciment-bois participent à l'isolation thermique de l'enveloppe grâce à la conductivité thermique améliorée par la présence du bois [PIMIENTA.P,1994].

#### **V.3.3. LE COMPORTEMENT VIS-A-VIS L'INCENDIE**

Les bétons de bois sont généralement classés M1 pour la réaction au feu. Ce classement résulte de l'existence de matière végétale, donc combustible, mais difficilement mobilisable du fait de leur enrobage dans une matrice cimentaire [PIMIENTA.P, 1994].

### **V.4. MODE D'AJOUT DE COPEAUX DE BOIS A LA MATRICE**

D'après la littérature, les copeaux de bois ont été incorporés dans la matrice, selon plusieurs façons :

- 1) Ajout en plus : les copeaux de bois sont ajoutés en plus à la composition de base de matrice [BEDERINA.M.2007],
- 2) Par substitution avec le ciment ou avec les granulats [COATANLEM.P.2006].

### **V.5.SYNTHESE DES RECHERCHES**

#### **V.5.1.MASSE VOLUMIQUE ET RETRAIT**

➤ Quelque soit le type de matrice utilisé, les principaux problèmes posés par les

bétons de bois sont donc les effets retardateurs de prise des extraits de bois et les variations dimensionnelles. Donc il faut toujours respecter un compromis entre la masse volumique et les variations dimensionnelles (retrait) [LEDHEM.1997],

- La masse volumique diminue lorsque la teneur en copeaux de bois augmente et ce quelque soit le milieu de conservation du composite [LEDHEM.1997],
- La valeur cible du retrait, généralement adoptée est de 1 mm/m [PIMIENTA.P,1994],
- Les résultats des traitements par enrobage de liant hydraulique (chaux et ciment) montrent que plus la concentration du traitement augmente, plus la masse volumique augmente et par conséquent le retrait diminue [LEDHEM.2000].

### **V.5.2. MICROSTRUCTURE POREUSE**

L'étude de la microstructure poreuse a montré un double échelles de porosité dans les bétons de bois : une macroporosité dans les granulats de bois et une micro et mésoporosité essentiellement localisées dans la matrice minérale [BOUGUERRA.1996]. Les propriétés mécaniques et thermiques des bétons de bois sont, alors, étroitement dépendantes de la microstructure et particulièrement de la structure poreuse [BOUGUERRA.1996].

### **V.5.3. RESISTANCE A LA COMPRESSION**

- l'évolution dans le temps de la résistance en compression du matériau sec, pour différentes compositions en bois, montre que la stabilisation est rapide, quelle que soit la composition ; elle est atteinte à 28 jours [BOUGUERRA.1996],
- la résistance à la compression diminue lorsque le dosage en copeaux de bois augmente. Cependant, il faut rechercher un compromis entre les caractéristiques mécaniques et l'allègement avec un minimum de variation dimensionnelle [GOTTEICHA.2005].

### **V.5.4. CONDUCTIVITE THERMIQUE**

- l'augmentation du contenu des copeaux réduit la conductivité thermique des bétons de sable et par conséquent l'augmentation de leur capacité isolante [BEDERINA, M.2007] ,
- les deux types de bétons de sable, dunaire et alluvionnaire, ont pratiquement le même comportement d'allègement en fonction du dosage en copeaux de bois avec une légère différence dans la conductivité thermique environ de 0,1 (W/mK).

### **V.6. PROBLEMES POSES PAR LES BETONS DE BOIS**

Les principaux problèmes posés par les bétons de bois sont leurs variations dimensionnelles et leur forte nature hygroscopique [BOUGUERRA, AL. 1994 et LEDHEM A.1997].

Plusieurs études ont été faites pour remédier à ces problèmes. L'ajout de produits chimiques, généralement des sels d'acides minéraux, a permis d'accélérer la prise et le durcissement mais il faut noter le risque d'accentuer ainsi les variations dimensionnelles de la matrice. L'introduction de sable est également utilisée pour diminuer les variations dimensionnelles. Toutefois il faut toujours respecter le compromis masse volumique variations dimensionnelles. L'ajout de composés pouzzolaniques : roches volcaniques, fumée de silice, laitier de haut fourneaux etc., a été effectué pour différents buts : augmenter les caractéristiques mécaniques, réduire la sensibilité du liants aux extraits du bois, diminuer l'alcalinité du milieu par réaction avec la chaux dégagée par l'hydratation du ciment et restreindre ainsi la libération de substances nocives.

## **VI. DURABILITE DU BETON**

### **VI.1.INTRODUCTION**

La durabilité peut être définie comme le maintien de la qualité de l'ouvrage sur une longue durée. On peut dire que la durabilité d'un ouvrage n'est rien d'autre que la durabilité de ses propriétés de service. Il existe un très grand nombre de structures en béton âgées de 40 à 90 ans qui sont encore en excellent état. Il existe aussi de très nombreux cas où une mauvaise durabilité a provoqué la ruine complète ou partielle des ouvrages.

Dans tous les pays, on rencontre des structures qui datent de plusieurs siècles. Cependant, des accidents peuvent survenir durant la réalisation ou à tout moment de la durée de vie des constructions. Ce sont les accidents, limités en nombres, mais généralement fatals en vie humaine et en coût qui attirent l'opinion publique [BARON. J,1987].

La qualité du béton n'a pas cessée de connaître des progressions considérables dans ses performances. Par ailleurs ; la qualité du béton (matériaux et mise en œuvre) représente parfois une cause principale des cas pathologiques des constructions, et des désordres qui en résultent à long terme (durabilité) par des processus physico-chimiques (infiltration d'eau, fissuration, corrosion, etc.).

### **VI .2. CAUSES DE DESORDRES DANS LES CONSTRUCTIONS**

Plusieurs chercheurs ont analysé les causes principales des désordres dans les constructions. Les désordres sont en général dus à la conjonction de plusieurs causes qui peuvent être liées :

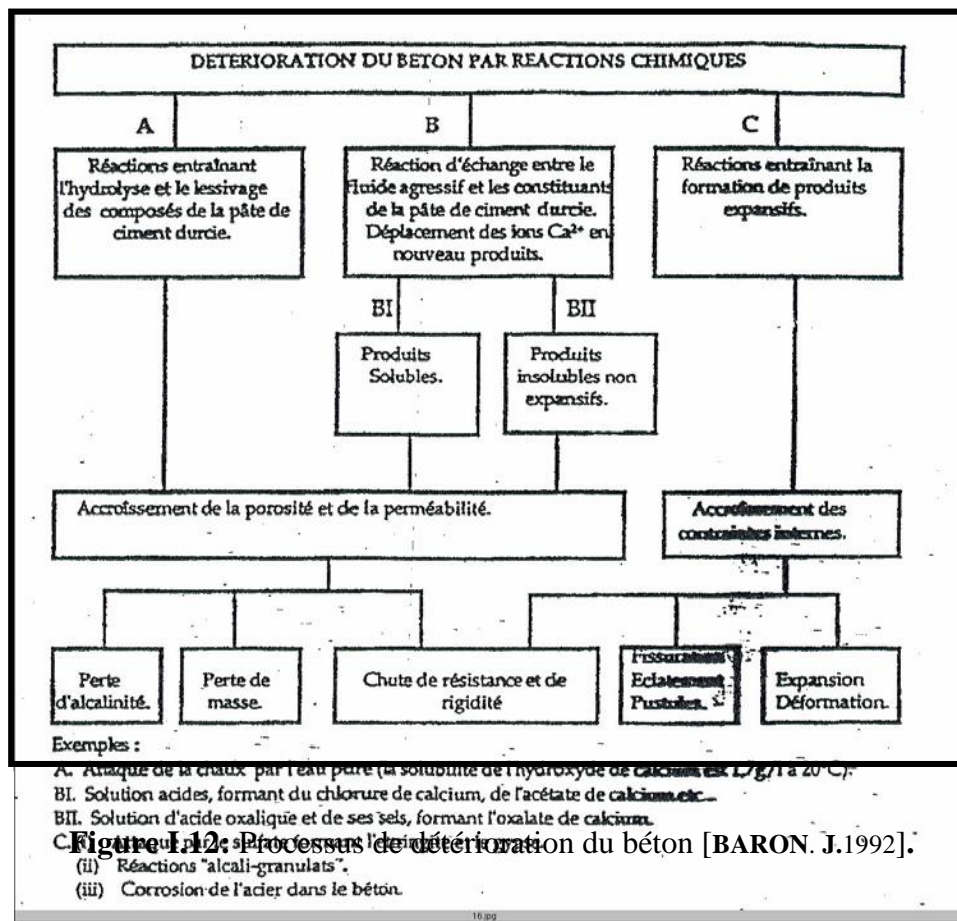
- Au calcul et à la conception: erreurs de conception et de calcul; insuffisance des hypothèses de calcul, la non prise en compte des variations dimensionnelles ;
- A la qualité des matériaux: granulats, ciment, eau de gâchage, adjuvant et aciers ;
- Au sol: absence ou insuffisance d'étude géotechnique et mauvais choix du site ;

- A la mise en œuvre: absence de détails de dessins, de contrôle, non-respect des règles de l'art, des prescriptions concernant surtout l'enrobage des aciers, l'encrage des armatures, bétonnage, la cure, le coffrage et le décoffrage.

### VI.3. PRINCIPALES CAUSES DE DETERIORATIONS

Le béton frais a un caractère fortement basique, dû à une proportion élevée d'hydroxyde de calcium. Le PH du béton non-carbonaté est d'environ 12,5. Mais le  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  est peu à peu carbonaté par le  $\text{CO}_2$  de l'air, ce qui fait baisser le PH. Dans des bétons ou mortiers étanches à l'eau, il est impossible d'avoir une attaque par des solutions agressives ou d'autres, dans la partie carbonatée, le PH descend environ à 7, ce qui est le PH d'équilibre de la solution saturée de carbonate de calcium, mais s'il y a une humidité dans l'ouvrage. Il se produit un échange de protons, ce qui rend imprécise la frontière du PH. En revanche, dans le cas d'une eau riche en acide carbonique, la carbonatation peut être accélérée. Le béton durci est produit à la suite de l'hydratation du ciment Portland qui réagit avec l'eau pour former des C-S-H (silicates de calcium hydratés).

Les C-S-H jouent le rôle de colle qui solidarise les granulats entre eux pour créer un matériau rigide. La pâte de ciment représente 25% à 40% du volume de béton. La plupart des propriétés du béton et plusieurs aspects de la durabilité du béton sont les propriétés physico-chimiques. Il est donc important de comprendre la structure de base de la pâte de ciment hydraté. La figure I.12 montre le processus de détérioration du béton [BARON. J.1992].



## **VI .4. FACTEURS DE DURABILITE**

Pour fabriquer un ouvrage durable, il faut utiliser un matériau durable. Les caractéristiques du mortier et béton qui contrôlent la durabilité sont citées dans ce qui suit :

### **VI .4.1.INFLUENCE DES PROPRIETES DES MATERIAUX**

Pour que le béton ou le mortier soit fabriqué correctement, il faudra que les constituants des matériaux aient une qualité convenable et suivent certains traitements de façon inadéquate au cours de fabrication.

#### **a)-Type de ciment**

Certains types de ciment offrent de meilleures performances en présence d'eau de mer ou de granulats potentiellement réactifs en milieu marin. Il peut être nécessaire d'utiliser un ciment type 50 à faible teneur en C3A pour limiter les risques de réaction alcali-granulats, comme on peut choisir un ciment à faible teneur en alcalis.

#### **b)-Type de granulats**

Certains granulats sont gélifs, c'est à dire qu'ils sont sensibles à l'action des cycles de gel-dégel. Il faut donc éviter de les utiliser dans les bétons exposés au gel. Comme ils existent des granulats qui peuvent réagir avec les alcalis du ciment pour former des produits expansifs qui peuvent faire fissurer le béton (réaction alcalis -granulats) .

#### **c )-Ajouts minéraux**

Certains ajouts minéraux tels que, la fumée de silice, les cendres volantes, les laitiers et le calcaire peuvent modifier considérablement le comportement du béton ou mortier exposés à un environnement donné. Ils peuvent parfois améliorer ou diminuer la durabilité selon le dosage et la réactivité. A l'heure actuelle, il est possible de fabriquer des bétons de 150 MPa à condition de pouvoir disposer d'un ciment spécialement conçu à cet effet , des ajouts et des granulats particulièrement performants [BEDARD, C.1990].

### **VI .4.2. INFLUENCE DU RAPPORT E/C**

Le rapport E/C est un paramètre fondamental qui contrôle la plupart des propriétés physico-chimiques du béton. Du point de vue durabilité, une réduction du rapport E/C est presque toujours bénéfique car elle entraîne la diminution de la porosité de la pâte de ciment hydraté ainsi que la perméabilité [BARON. J, 1992]. De plus une résistance à la compression élevée est généralement un indice de bonne qualité et signe d'un rapport E/C faible qui produit une pâte de ciment durci de meilleure qualité (porosité et perméabilité plus faible) [BELAIDI. A, 2003].

### **VI.4.3. MISE EN ŒUVRE DU MATERIAU**

Si les méthodes de mise en place et de mûrissement ne permettent pas au béton de développer toutes ses qualités, la durabilité de l'ouvrage pourra être considérablement réduite. A titre d'exemple, une mauvaise technique de mûrissement et de cure réduit la capacité du béton à résister à différents types d'agressions. Comme il faudra aussi vérifier l'étanchéité et la conception des coffrages [BELAIDI. A, 2003].

### **VI.4.4. EFFETS DU CLIMAT CHAUD SUR LA DURABILITE DU BETON ET MORTIER**

Une structure de béton évolue de manière rapide en fonction des conditions climatiques et du type d'exposition face aux agents potentiellement agressifs. Dans les climats chauds et secs, les exigences touchant à la qualité du béton et mortier sont généralement sévères.

Les températures élevées sont toujours les principales causes de la dégradation du béton et mortier [GUEMMADI,Z,BEN DJILLALIK ; 2001et KENAI .S ; 1994]. Elles entraînent des désordres plus graves si on se trouve sous un climat très sec, et favorisent l'évaporation rapide de l'eau de gâchage ce qui provoque ainsi un retrait important. Cette évaporation est d'autant plus à craindre lorsqu'elle affecte l'eau nécessaire à l'hydratation [BELAIDI. A, 2003].

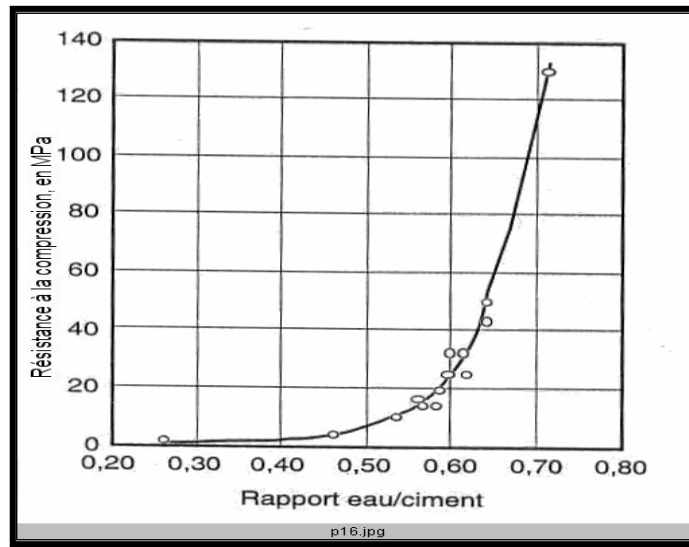
### **VI.4.5. PERMEABILITE ET DIFFUSIVITE**

La perméabilité du béton à un fluide (eau, air, etc.) est une propriété très importante en pratique pour l'utilisation des éléments en béton et pour leur durabilité. L'étude et la mesure expérimentale de celle-ci présente plusieurs difficultés. Dans un milieu poreux, la perméabilité est influencée par l'importance des espaces vides, des discontinuités (fissures) de la structure et du réseau de pores. La figure I.13 montre la relation entre la perméabilité et le rapport E/C de la pâte de ciment à maturité (ciment hydraté : 93%) [NEVILLE. M. 2000].

D'une façon générale, la perméabilité dépend des paramètres suivants : rapport E/C, type de ciment, humidité relative. Par contre la diffusivité est relative au déplacement d'une espèce chimique à l'échelle moléculaire sous l'effet d'un gradient de concentration. Contrairement à la perméabilité, la diffusivité dans un matériau poreux ne dépend pas de la taille des pores, mais dépend de leur interconnexion [MAKHLOUFI.Z.2001].

### **VI.4.6. COMPACITE ET POROSITE**

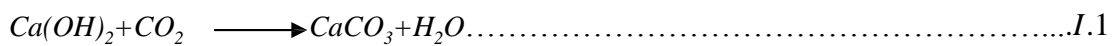
La compacité est une propriété essentielle qui conditionne la résistance mécanique, le module d'élasticité et la durabilité. La porosité est définie comme étant le paramètre du premier ordre de la durabilité, car pour une porosité donnée, la diminution de la dimension des pores entraîne une augmentation de la résistance de la pâte de ciment. Le tableau I.4 présente la qualité des bétons en fonction de la compacité et la porosité.



**Figure I.13 :** Relation entre la perméabilité et le rapport E/C de la pâte de ciment (Ciment hydraté : 93%) [NEVILLE. M. 2000].

**VI .4.7. PHENOMENE DE CARBONATATION**

La carbonatation est la transformation de la portlandite en carbonate de calcium par l’action du gaz carbonique dissous dans la phase liquide interstitielle dans la pâte de ciment durci, ce qui provoque la corrosion des armatures [BARON. J.1992]. Le taux de carbonatation augmente avec la teneur en CO<sub>2</sub> et la présence des fissures dans le béton et mortier.



Des chercheurs ont montré que s’il y a prolongation de la période de mûrissement humide de 1 à 3 jours, la profondeur de carbonatation diminue d’environ 40% [GUEMMADI, Z]. D’autres signalent que les ajouts de laitiers et de cendres volantes dans le béton accroissent de façon significative la carbonatation par rapport à un béton de ciment Portland [BARON. J.1992].

**Tableau I.6 :** Compacité et porosité des bétons [BEDARD et BERGERON.1990]

<i>Compacité et porosité des bétons</i>		
<i>Compacité</i>	<i>porosité</i>	<i>Qualité des bétons</i>
0.89 à 0.9	10 à 11%	Excellence
0.85 à 0.86	12 à 15%	Bonne
0.82 à 0.84	16 à 18%	Satisfaisante
0.78 à 0.81	19 à 22%	Médiocre
<0.78	>22%	Mauvaise

#### **VI .4.8. CYCLES GEL -DEGEL**

Chaque cycle de gel provoque une migration de l'eau vers les zones où elle peut geler. Ces zones de gel comprennent de fines fissures qui s'élargissent sous l'effet de la pression de la glace et ne se referment pas lors du dégel, puis elles se remplissent d'eau.

Lorsque les conditions en service font que la température d'un béton saturé passe en dessous du point de congélation, l'eau dans les pores capillaires de la pâte durcie gèle progressivement d'une façon identique à celle des pores d'une roche et donne lieu à une expansion. Le phénomène d'expansion du béton se produit principalement dans la pâte de ciment hydraté et les vides les plus importants dus à un serrage ou compactage incomplet du béton [BEDARD et BERGERON.1990].

#### **VI .4.9. ACTION DES SOLUTIONS AGRESSIVES**

La durabilité du béton s'explique, en grande partie, par la difficulté à laquelle les agents agressifs pénètrent dans le réseau poreux des bétons ou mortiers. De ce fait, l'agressivité du milieu où se trouve l'ouvrage doit être prise en considération. Pour un CPJ contenant 63% de clinker, 10% de laitier et 17% de cendres volantes, qui sont tous des éléments actifs, on s'attendra à des bonnes résistances au milieu agressives. Tandis que pour un ciment CPJ constitué de 75% de clinker et 25% de filler dont l'activité chimique est tout à fait négligeable. Le filler peut jouer seulement un rôle quant à la compacité, mais en aucun cas en tant que liant ou qu'élément résistant à l'agressivité du milieu ambiant.

##### **VI .4.9.1. ACTION DES SULFATES**

Les sulfates peuvent être d'origine naturelle, biologique ou provenir de pollutions domestiques et industrielles. Dans certaines régions où les sols contiennent du gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou de l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ), on peut rencontrer des concentrations élevées (> 5%) [NEVILLE.M.2000], par exemple: l'Afrique du nord, prairies canadiennes, région parisienne. Les solutions sulfatées qui sont présentes dans certains sols et dans les eaux souterraines attaquent le béton à base de ciment Portland.

La rapidité et la gravité de l'attaque dépendent de la quantité de sulfate disponible, de la présence d'eau, de la composition du ciment et de certaines caractéristiques du béton telles que la perméabilité. A mesure que progresse cette attaque, la pâte de ciment durcie perd progressivement de sa résistance et le processus se termine par la désagrégation du béton. Ces dernières décennies, l'action du sulfate sur le béton ou mortier a fait l'objet de plusieurs recherches depuis quelques cinquante ans. Une grande partie des travaux sur la question a été réalisée dans l'Ouest du Canada, d'autres études sont lancées en Arabie Saoudite [NEVILLE. M. 2000 et SOROKA L.1976].

Il ressort de ces études qu'il faut utiliser un ciment Portland de haute résistance aux sulfates avec un rapport E/C inférieur à 0.45 et une cure prolongée afin de diminuer l'effet de l'action sur les bétons et mortiers. Le tableau I.7 explique une évaluation de l'agressivité chimique des sulfates pour chaque milieu.

**Tableau I.7 :** Evaluation de l'agressivité chimique des sulfates pour différents milieux

[BRITISH.S,1985]

<i>Environnement</i>	<i>Agressivité (classe d'exposition)</i>		
	<i>Faible</i>	<i>Modérée</i>	<i>Forte</i>
<b>Gaz :( milieu humide HR&gt;75%)</b>			
- SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	< 0.50	0.5 - 10	10 - 200
- H <sub>2</sub> S (mg/m <sup>3</sup> )	< 0.1	0.1 - 10	10 - 200
<b>Eau :</b>			
degré d'acidité (PH)	6.5 - 5.5	5.5 - 4.5	4.5 - 4
Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	200 - 500	500 - 1000	1000 - 6000
<b>Sol :</b>			
- Degré d'acidité selon Baumann	> 20	X(*)	X(*)
- Gully sulfate SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/kg)	2000-3000	3000-12000	12000-24000
<b>X(*) : condition d'attaque non observé en pratique.</b>			

#### a) -Mécanismes de destruction par les sulfates

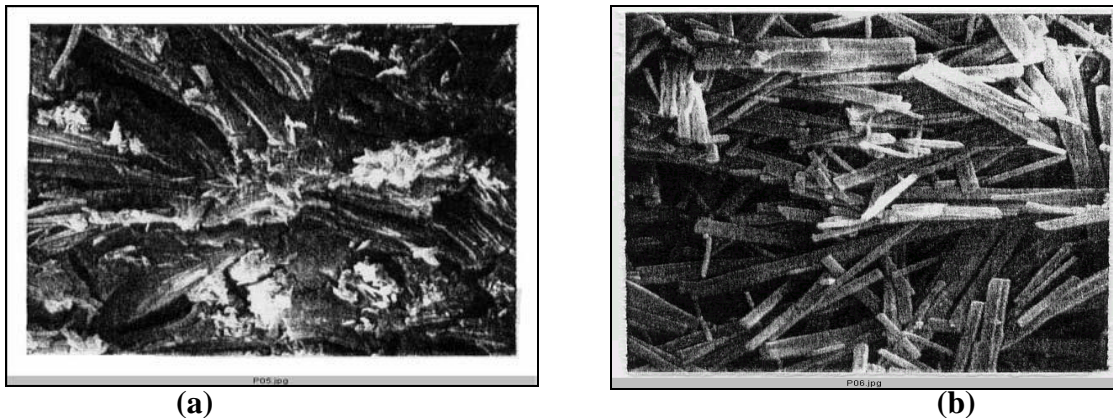
Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico-chimiques qui sont: L'expansion et la perte des propriétés liantes des C-S-H. La vitesse de l'attaque par les sulfates augmente avec l'augmentation de la concentration de la solution. Mais, au-dessous d'une concentration d'environ 0.5% de MgSO<sub>4</sub> ou de 1% de NaSO<sub>4</sub>, la vitesse d'augmentation de l'intensité de l'attaque diminue [NEVILLE. M, 2000]. L'attaque sulfatique est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits secondaires, dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et d'une détérioration chimico-mécaniques (Modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, perte de résistance et de cohésion, etc.). Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé.

L'attaque externe se produit lorsqu'un matériau cimentaire se trouve en contact direct avec une source de sulfate, comme dans les sols, les eaux souterraines, les eaux d'infiltration et les pluies acides (acide sulfurique) liées à la pollution industrielle atmosphérique. L'attaque peut être décrite selon trois processus permettant d'évaluer l'agression.

- Le transfert dans le milieu poreux des ions sulfate qui est contrôlé par la perméabilité et la diffusivité du matériau
- Les réactions chimiques entre les composants de la pâte de ciment, qui dépendent du ciment utilisé, et les ions  $\text{SO}_4^{-2}$ .
- Le phénomène d'expansion, résultant de l'apparition de nouvelles phases cristallines, conséquence des deux premiers processus [PLISKIN, L,1993].

Une solution saturée en  $\text{MgSO}_4$  provoque une détérioration importante du béton et mortier, bien que, pour des faibles rapports E/C, cette détérioration n'apparaisse qu'au bout de 2 à 3 ans.

Les mécanismes de destruction sont fonction de la concentration et de la source des ions sulfates dans la solution d'eau externe ou dans la pâte de ciment. Les sulfates présents à l'état dissous dans certains granulats, sols et nappes phréatiques, réagissent avec le ciment hydraté (composés d'alumines du ciment) pour former des cristaux d'un sel fortement expansif: le sulfoaluminate (ettringite), qui entraîne le gonflement puis l'éclatement du béton en peu de temps [MAKHLOUFLI, 2001]. La figure I.14 montre la micrographie de l'ettringite.

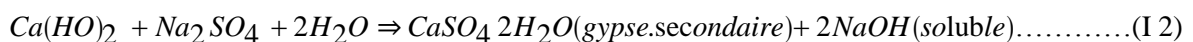


**Figure I.14-** Micrographie de l'ettringite [BARON, J,1992].

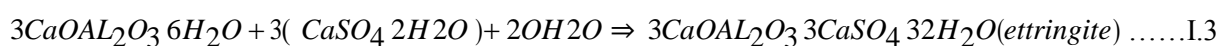
**(a) : Ettringite massive mal cristallisée expansive formée topochimiquement**

**(b) : Cristaux bien formés d'ettringite non expansive précipité à partir de la solution**

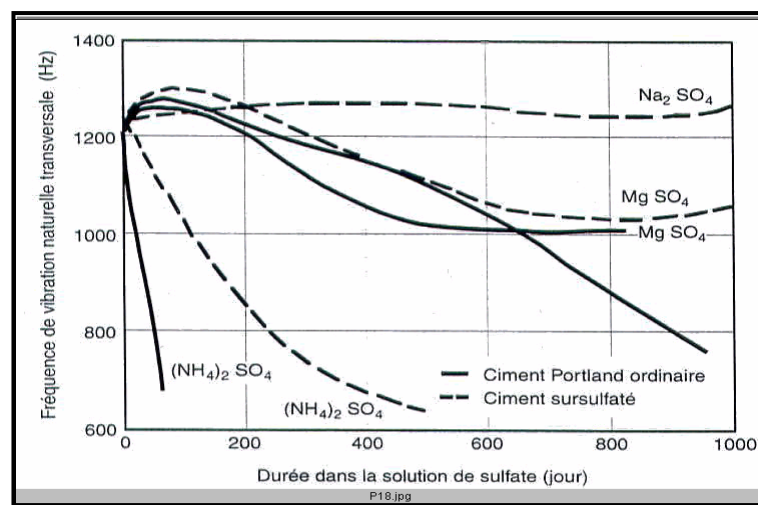
-Réaction avec la chaux et formation du gypse secondaire ; est :



Une partie du gypse secondaire formé au cours de cette réaction provoque une expansion, l'autre partie soluble entraîne une érosion et une réaction avec l'aluminate tricalcique selon la relation suivante :



La figure I.15 explique l'effet de l'immersion des éprouvettes dans la solution de 5 % de sulfate sur le module élastique dynamique de mortiers confectionnés avec un ciment Portland ordinaire et un ciment sursulfaté [NEVILLE. M, 2000].



**Figure I.15 :** L'état des éprouvettes dans la solution de 5 % de sulfate sur le module élastique dynamique de mortiers confectionnés avec un ciment Portland ordinaire et un ciment sursulfaté [NEVILLE. M., 2000].

Le sulfate de magnésium attaque les hydrates de silicate de calcium aussi bien que le  $Ca(OH)_2$  et l'hydrate d'aluminate de calcium ; la conséquence finale de cette attaque et la destruction des C-S-H et la formation différée d'ettringite.

Selon certains chercheurs [NEVILLE. M. 2000], le développement des forces expansives à la pression de gonflement provoquée par l'adsorption d'eau par l'ettringite colloïdale originelle qui précipite dans la solution en présence de chaux. D'autres, font cependant remarquer qu'un apport d'eau extérieur n'est pas nécessaire pour que l'expansion se produise.

Les conséquences de l'attaque par les sulfates ne se limitent pas seulement à une expansion destructrice et à la fissuration, mais provoquent aussi une chute de résistance du béton due à une perte de cohésion de la pâte de ciment hydraté et à une désagrégation entre la pâte et les granulats. Le tableau I.8 présente le classement proposé par la norme ACI 201-2R-92 relatif à la sévérité des conditions d'exposition

**Tableau I.8 :** Classement proposé par la norme ACI 201-2R-92 relatif à la sévérité des conditions d'exposition [NEVILLE. M. 2000]

<i>Concentration en sulfate soluble exprime en <math>SO_4^{2-}</math></i>		
<i>Exposition</i>	<i>Dans le sol (en %)</i>	<i>Dans l'eau (en p.p.m)</i>
<b>faible</b>	<0.1	<150
<b>modérée</b>	0.1 à 0.2	150 à 1500
<b>sévère</b>	0.2 à 2.0	1500 à 10000
<b>Très sévère</b>	>2.0	>10000

Outre la concentration en sulfate, la vitesse à laquelle le béton est attaqué dépend aussi de la vitesse à laquelle le sulfate consommé par la réaction avec le ciment peut être remplacé. De même des cycles alternés de mouillage et de séchage provoqueront une détérioration rapide.

#### **b)- Formation de la thaumasite**

La thaumasite est un produit de réaction de l'attaque de sulfate à basses températures, en particulier 0-15°C [BENSTED, J]. Deux réactions, très lentes, se produisent simultanément et se limite aux ciments Portland.

Au cours d'une des réactions, le C-S-H est transformé immédiatement, avec le carbonate et le sulfate en présence d'ions de calcium et d'eau en ettringite. L'autre réaction commence partir d'ettringite préalablement formée, qui réagit ensuite avec le C-S-H, sulfate et carbonate en présence d'ions calcium, l'ettringite est d'abord transformée en wood-fordite (un cristal mixte entre les extrémités ettringite et thaumasite), et ensuite il y a la thaumasite ( $CaCO_3, CaSO_4, CaSiO_3, 15H_2O$ ).

Les deux réactions sont indépendantes. Généralement, la thaumasite survient d'hydrate du silicate de calcium C-S-H et l'eau ou d'ettringite dans la présence de silice dissoute et de carbonate [BARON. J.1992].

#### **VI .3.9.2. ACTION DE L'EAU DE MER**

Les sels agressifs de l'eau de mer sont essentiellement les sulfates et les chlorures. L'action des chlorures peut être limitée aux chlorures fréquemment rencontrés qui sont les chlorures de magnésium ( $MgCl_2$ ) et le chlorure de calcium ( $CaCl_2$ ). Une partie des chlorures est fixée par les silicates de calcium hydraté, une autre partie se combine au  $C_3A$  sous forme de monochloroaluminate de calcium  $C_3A.CaCl_2.10H_2O$ .

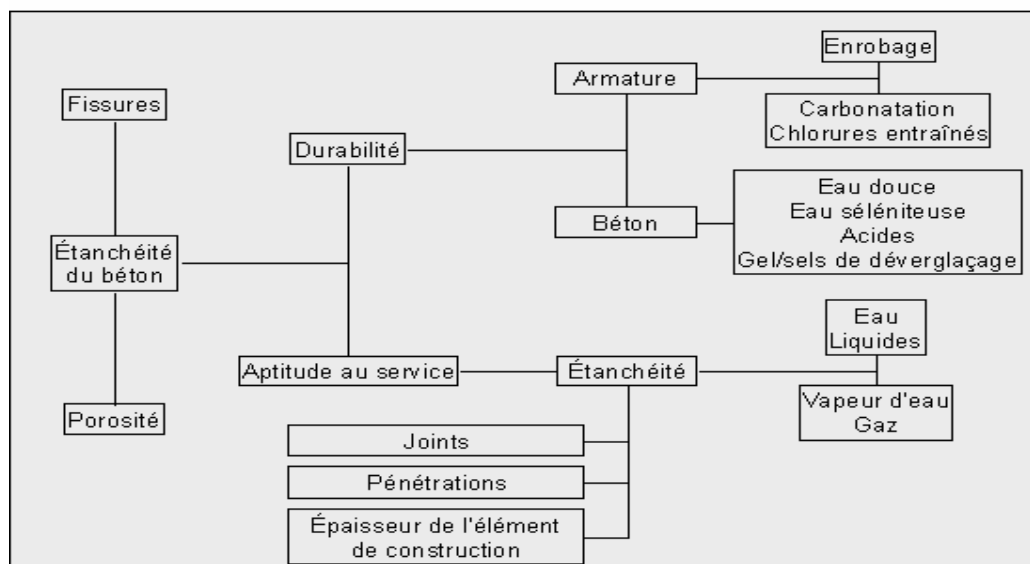
La réaction entre les ions sulfates et à la fois le  $C_3A$  et les C-S-H se développe, entraînant la

formation d'ettringite, mais cette réaction n'est pas associée à une expansion destructrice parce que l'ettringite, tout comme le gypse, est soluble en présence des chlorures et peut être lessivé par l'eau de mer. Pour cela [NEVILLE. M. 2000] suggère que l'emploi d'un ciment résistant aux sulfates dans un béton exposé à l'eau de mer n'est pas essentiel, mais une limite de 8% du  $C_3A$  est recommandée lorsque la teneur en  $SO_3$  est inférieure à 3%.

## VI.5. FISSURES ET DETERIORATION

Une fissure est une rupture entre deux parties du matériau qui ne sont plus liées et deviennent séparables, il est souvent complexe de distinguer les fissures à l'œil nu. En simplifiant, on peut différencier les fissures en les subdivisant en micro et en macro -fissures. Les micro-fissures ou fissure de surface sont des fissures courtes très fines, réparties entre la pâte de ciment et le long des granulats. Les fissures peuvent s'orienter dans n'importe quelle direction, dans le béton normal, les micro-fissures sont souvent provoquées par l'absence ou l'insuffisance du traitement de cure. Les macro-fissures peuvent être classifiées de manière simplifiée en fissures de séparation et fissures de flexion. La figure I.16 montre les facteurs influant sur l'étanchéité du béton, sous l'aspect de la durabilité et l'aptitude au service.

Puisque la fissuration peut compromettre la durabilité du béton, et par autant que l'étanchéité soit concernée; il est utile de noter que quelle que soit la cause initiale d'une fissure; son développement pourrait être dû à une autre cause, le diagnostic de l'origine ou de la cause d'une fissuration n'est pas toujours simple [BEDRINA.M.2000, BELAIDI.2003].



**Figure I. 16** : Facteurs influant sur l'étanchéité du béton, sous l'aspect de la durabilité de l'aptitude au service [HUNKELER. F.1998]

## VI.6. REPARATION

L'objectif de base pour n'importe quel travail de réparation est de rétablir les dommages des

structures, qui sont apparus dans leurs conditions d'origine et de protéger ainsi la structure des dommages similaires dans l'avenir.

En conclusion, pour que les travaux de réparation soient parfaitement réussis avec le minimum de coûts, un ensemble d'actions doit être pris :

- traiter les causes et non les symptômes des désordres,
- faire une évaluation correcte et complète des travaux,
- utiliser de produits de réparation fiables, certifiés et conformes aux normes.

#### **VI .6.1. DEFAUTS ET TECHNIQUES DE REPARATION**

Il existe plusieurs techniques ou procédures qui permettent de réparer et d'entretenir l'ouvrage. On doit choisir une technique appropriée en tenant compte de plusieurs facteurs tels que le type de problème, la durabilité de la réparation et également le coût de la réparation.

##### **a) Ségrégation**

La ségrégation est constatée soit comme des nids d'abeilles qui sont habituellement les résultats d'une consolidation inadéquate du béton, soit des lisières sablonneuses qui sont des concentrations de sable dans le mélange du béton ou mortier. Lorsque ces problèmes sont répondus, la résistance structurale de l'ouvrage peut être gravement affectée. Le remède est de nettoyer la surface du béton et de remplir les vides avec un mortier de qualité.

##### **b) Ressuage**

Le ressuage est une forme de ségrégation du béton plastique, c'est un problème fréquent dans la finition des dalles. Le ressuage peut facilement être réduit ou éliminé par certaines corrections dans le dosage du mélange.

##### **c) Ecaillage**

L'écaillage est une détérioration superficielle qui se rencontre surtout dans les dalles et les chaussées. Pour remédier à cette détérioration, on peut par exemple appliquer une couche de mortier sous pression comme il est possible de procéder au resurfaçage avec du béton.

##### **d) Faiëncage**

Il est également appelé fissuration à mailles fines, qui sont, en général, limitées à la surface de l'ouvrage. Il est souvent traité à temps par scellement de surface.

##### **e) Surfaces poussiéreuses**

Les surfaces horizontales sont plus sujettes à devenir poussiéreux que les autres. Il existe

différents traitements de surface pour corriger le problème, en diminuer les effets, on peut employer des produits tels que les durcisseurs ou les scellant (Certains produits qui sont à base de silicate de sodium ou d'huile de lin).

#### **f) Eclatement**

L'éclatement du béton est principalement causé par des granulats facilement altérables ou la corrosion des aciers peut également provoquer l'éclatement du béton. Donc selon l'importance du problème on procédera à un repiquage local ou à la réfection complète de la surface endommagée.

#### **g) Infiltration**

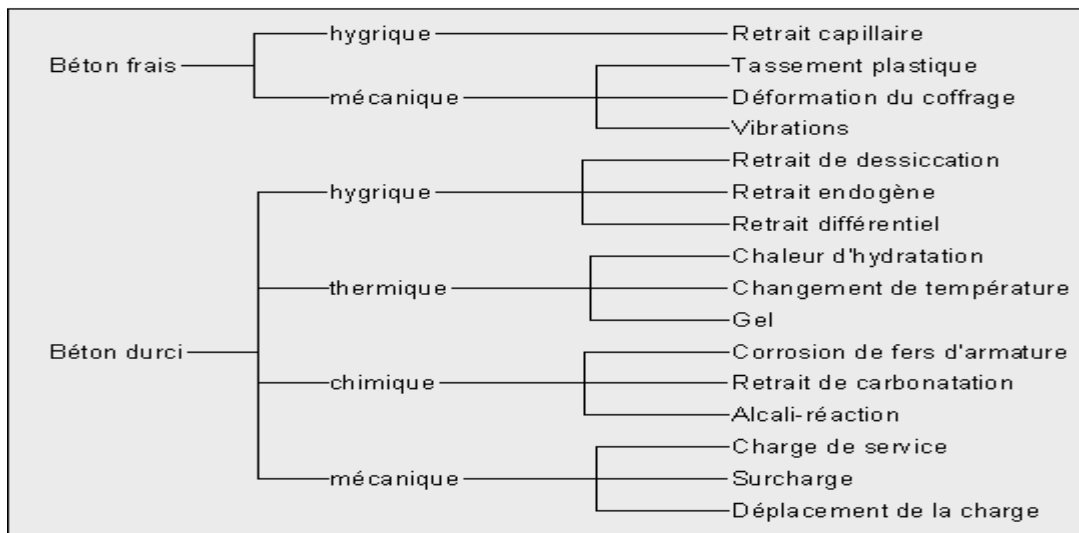
L'infiltration d'eau est un problème qui afflige un certain nombre de construction en béton, il faut qu'il existe une bonne étanchéité, et une suffisante imperméabilité, tout en utilisant comme remède un mortier bien compacté, un mortier sous pression, ou à un mélange à base de résine époxy, comme on peut également poser un produit de recouvrement imperméable. Ces produits peuvent être à base de caoutchouc ou de bitume.

#### **h) Fissures**

on distingue généralement :

- les fissures inactives : elles peuvent être causées par le retrait, après un certain temps, et parviennent à un état stable
- les fissures actives: elles ont une ouverture variable (cycle de chargement, cycle de température),
- les fissures évolutives: elles ont comme particularité que leur ouverture progresse constamment selon la présence des phénomènes qui les ont engendrées, exemples tassement des sols, corrosion des aciers d'armatures, réactions alcalis-granulats.

La figure I.17 donne une vue d'ensemble des causes dans le cas du béton frais et du béton durci.



**Figure I.17 :** Causes de fissuration du béton frais et du béton durci [CEB.1992]

## VI.6.2. MATERIAUX DE REPARATION

L'apparition des fissures et des dégradations dans le béton nécessite une réparation. Cette réparation ne peut être faite qu'après analyse de la nature des désordres, des causes, et des conditions d'exploitation ainsi que la connaissance des produits de réparation appropriée car le produit de réparation participe après application à la durabilité de l'ouvrage.

### VI.6.2.1. TYPES DES MORTIERS DE REPARATION

Les produits utilisés pour la réparation des ouvrages en béton peuvent être classés en trois catégories, selon le liant ; qui assure la cohésion, que soit de nature hydraulique (ciment), organique réactif (résine synthétique) ou mixte.

#### a) Produits à base de liants hydrauliques

Les mortiers à base de liants hydrauliques remplissent l'univers de la construction. L'utilisation ancestrale des liants hydrauliques (chaux, ciments, plâtres et autres ...) nous les fait considérer, comme des matériaux simples, mais cette simplicité apparente de production masque une complexité physico- chimique. La formulation autour de ces liants, nécessite l'apport de plusieurs disciplines clés : la rhéologie des pâtes ou suspensions denses, la chimie de l'hydratation et la micro-mécanique.

■-La rhéologie fixe la qualité du coulage, l'état initial de la pâte fraîche au début de son hydratation. Les grains anhydres réactifs ne pourront plus migrer dans la suspension, après le serrement de la pâte, à la fin de la mise en place.

■-La chimie de l'hydratation définit les hydrates cibles qui conduiront aux performances visées, en fonction de la minéralogie des constituants de départ. L'absence d'agitation dans la pâte après coulage, s'exprime par des réactions en milieu stagnant, avec prédominance des

mécanismes de diffusion.

■-L'équilibre thermodynamique est rarement atteint pour des systèmes à hydratation lente ou soumis à des sollicitations externes.

■-La micro-mécanique permet de préciser les vertus envisageables de telle ou telle microstructure et l'impact des conditions thermohydriques sur la dilatation du matériau, au cours de son élaboration in situ.

L'exemple choisi dans notre projet est la formulation des mortiers simples avec peu d'exigence en terme de compromis de propriétés. Ces mortiers de réparation sont souvent utilisés comme simple produit de scellement ou de blocage par certains maçons. Au cours de cette analyse, nous nous focaliserons sur l'effet de climat réel de la région de Laghouat et sur les performances à court et à long terme.

### **b) Produits à base de résines synthétiques**

Ils sont assez différents les uns des autres selon les transformations physiques et chimiques qui se produisent au cours de leur mise en œuvre et selon la structure de polymère obtenue finalement (linéaire ou réticulaire) [BARON. J.1992].

### **c) Produits mixtes**

Les produits mixtes sont des liants actifs constitués à la fois de ciment et de résine synthétique réactive font intervenir à la fois la prise et le durcissement du liant hydraulique et la réticulation du polymère organique [BARON. J.1992].

## **VII. CONCLUSIONS**

Cette synthèse bibliographique, nous a permis, au début, de bien connaître les bétons de sable et leurs domaines d'application. Ceci nous permis, en fait, d'avoir une idée générale sur leurs méthodes de formulation et leurs propriétés physico- mécaniques. Nous avons pu remarquer que les recherches sur la formulation se basaient toutes sur la recherche d'une composition optimale et les recherches sur l'amélioration de la résistance mécanique se basaient sur l'utilisation des fillers et des adjuvants. Il faut noter que ce matériau présente des avantages techniques et économiques qui le qualifient pour un développement important dans la construction locale.

Puis, un passage sur les bétons légers, a également eu lieu dans cette étude bibliographique. On a noté que ces bétons légers, qui couvrent un champ très large, nécessitent des matériaux et des procédures appropriés. Leur masse volumique peuvent varier de 300 à 1800 kg/m<sup>3</sup> et leur résistances peuvent aller, parfois, même à 90 MPa dans le cas des bétons légers à hautes

performances.

Puis, une partie de cette étude a été consacrée à une généralité sur les bétons de bois dans laquelle on a mis en évidence que l'utilisation des granulats de bois dans la fabrication des bétons légers permet de valoriser certains sous produits de l'industrie de bois. Ces composites de bois offrent des caractéristiques mécaniques acceptables, des qualités thermiques élevées, mais présentent des variations dimensionnelles importantes constituant l'inconvénient majeur de ces matériaux.

Enfin, une dernière partie ayant pour but d'identifier les environnements qu'il faut considérer, ainsi que la sévérité des conditions, leur interaction et le risque de leurs existences continues a été présentée. Autrement dit, une généralités sur l'aptitude d'un béton à résister à la dégradation, c'est à dire sa durabilité.

# Chapitre II : Matériaux de base et techniques expérimentales

## I. INTRODUCTION

Ce deuxième chapitre va être divisé en deux parties principales dans lesquelles on va présenter, d'une part la caractérisation des matériaux de base composant notre composite et d'autre part les différentes techniques expérimentales utilisées.

Pour commencer donc, une première partie va être consacrée à la présentation des différentes caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques de tous les matériaux premiers qui ont été utilisés pour la formulation des composites étudiés. Ces matériaux sont:

a- Comme granulats :

- un *sable alluvionnaire* extrait d'oued M'zi qui est situé à la périphérie de la ville de Laghouat,
- et un *sable de dune* provenant également de la périphérie de la ville de Laghouat.

b- Comme liant:

- un *ciment CPJ 42.5* provenant de la cimenterie de la wilaya de M'sila,

c- Comme fillers :

- des fines calcaires extraites des déchets de concassage d'une carrière se trouvant à la sortie nord de la ville de Laghouat.

d- Comme ajouts d'allègement :

- des copeaux de bois issus des déchets des ateliers locaux de la menuiserie.

Puis, une deuxième partie va être consacrée à la présentation descriptive des différentes techniques expérimentales utilisées dans cette étude, notamment celles concernant le composite lui-même, à savoir : essai d'affaissement au cône d'Abrams (Slump test), essais mécaniques, essais de mesures du retrait et de pertes en poids, etc..

## II. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX PREMIERS

Dans ce qui suit, nous allons présenter des informations ainsi que des résultats d'essais réalisés sur les matériaux utilisés pour la préparation de notre béton de sable léger.

### II. 1. SABLE

Deux sables différents ont été utilisés : un sable de dune (SD) et un sable alluvionnaires (SA). Avant d'utiliser ces deux sables, une caractérisation générale est donc nécessaire. Pour cela, une série d'essais relatifs aux propriétés physico-mécaniques a été menée.



**Figure II.1** Echantillons des deux sables, dunaire et alluvionnaire

#### II.1.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

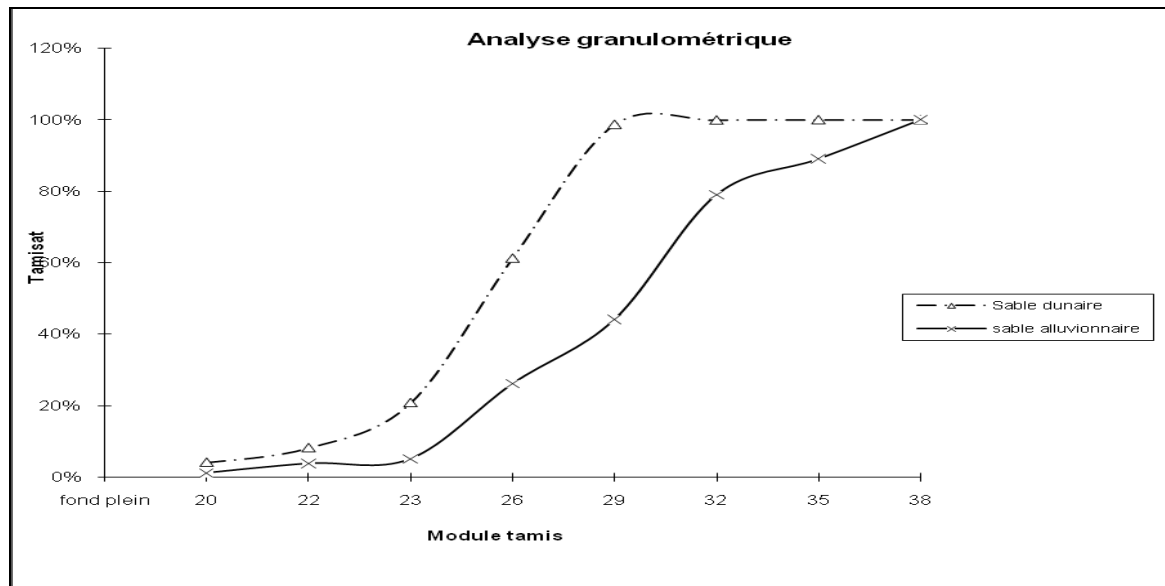
Cette analyse a été faite par voie sèche conformément à la norme NF P 18-560. C'est une étude expérimentale qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon représentatif.

En général, pour les sables, on utilise des tamis de modules (20-23-26-29-32-35-39) [DUPAIN,R, 1995]. La détermination des pourcentages en poids des grains de sable ayant une dimension inférieure ou égale à un diamètre donné se traduit par une courbe granulométrique après avoir passé par un tableau de calcul.

Le tableau (II. 1) présente les résultats de l'analyse granulométrique de SD et de SA.

**Tableau II. 1** : Résultats de l'analyse granulométrique des sables utilisés

<i>Tamis (mm)</i>	<b>5.0</b>	<b>2.5</b>	<b>1.25</b>	<b>0.63</b>	<b>0.315</b>	<b>0.16</b>	<b>0.125</b>	<b>0.08</b>
<i>Module</i>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>20</b>
Tamisât SD (%)	100	100	99.93	98.69	61.21	20.72	8.09	4.01
Tamisât SA (%)	100	89.05	79.01	44.09	26.08	5.04	3.72	1.08

**Figure II. 2** : Courbe granulométrique des deux sables utilisés.

Nous pouvons dire que le sable de dune est un sable fin et le sable alluvionnaire est un sable moyen. La granulométrie du sable de dune est serrée, par contre celle du sable alluvionnaire est étalée.

### II. 1. 2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Les caractéristiques physiques étudiées sont :

#### a) Masse volumique apparente

La masse volumique apparente peut être définie comme étant la masse du matériau par unité de volume qui intègre à la fois les grains et les vides.

$$\gamma_{\text{app}} = M / V \quad (\text{II. 1})$$

Où M est la masse du matériau,

et V est le volume total du matériau.

**b) Masse volumique absolue**

La masse volumique absolue peut être définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulats sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

$$\gamma_s = M_s / V_s \quad (\text{II. 2})$$

où  $M_s$  est la masse du matériau,

et  $V_s$  est le volume total du matériau solide.

Pour notre étude, la masse volumique absolue est déterminée au pycnomètre, en suivant les démarches suivantes :

1. Déterminer avec précision la masse  $M_1$  du pycnomètre rempli d'eau jusqu'au niveau du trait repère.
2. Déterminer avec précision la masse  $M_2$  d'un échantillon de sable sec, environ 50 g.
3. Introduire la totalité du sable dans le pycnomètre, rempli d'eau, fermer le bouchon et amener le niveau de l'eau au niveau du trait repère. Vérifier que le pycnomètre ne contient aucune bulle d'air. Peser alors le pycnomètre, soit  $M_3$ .
4. On peut alors écrire la relation entre les différents poids mesurés :

$$M_3 = M_1 + M_2 - (M_2 / \rho_s) \rho_w \quad (\text{II. 3})$$

On en déduit la masse volumique  $\rho_s$  du sable, connaissant la masse volumique de l'eau  $\rho_w$  qui est égale à 1 g/cm<sup>3</sup> (ou 1 t/m<sup>3</sup>).

**c) Module de finesse**

Le module de finesse des sables est défini par la relation suivante :

$$Mf = [\sum \text{des refus (en \%)} \text{ sur les tamis } 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 \text{ et } 5.0] / 100 \quad (\text{II. 4})$$

**d) Compacité et Porosité**

Ces caractéristiques sont très importantes vis-à-vis de la résistance mécanique du béton ou du mortier. Une compacité d'un matériau est intimement liée à sa masse spécifique.

La compacité est le rapport du volume du matériau solide au volume total. Elle est définie par :

$$\text{Où } p \text{ est la porosité. } C_p = V_s / V = 1 - p = \gamma / \gamma_s \quad (\text{II. 5})$$

### e) Equivalent de sable

Le but de l'essai d'équivalent de sable est l'évaluation de l'indice quantifiant la propreté d'un sable entrant dans la composition du béton. Cet essai, référencé par la norme « NF P18-598 », est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. Ensuite on lave l'échantillon, selon un processus normalisé, puis on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on prend les mesures suivantes :

- La hauteur  $h_1$  : sable propre + éléments fins.
- La hauteur  $h_2$  : sable propre seulement.

D'où, on déduit l'équivalent de sable par la formule suivante :

$$ES = (h_2 / h_1) \times 100 \quad (\text{II. 6})$$

Selon que la hauteur  $h_2$  est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine :

- **ESv** (équivalent de sable visuel).
- **ESp** (équivalent de sable au piston).

### II. 1. 3. SYNTHÈSE DES RESULTATS

Le tableau (II. 2) regroupe l'ensemble des résultats relatifs aux essais physiques effectués sur les sables utilisés.

**Tableau II. 2 :** Propriétés physiques des différents sables utilisés

sable	$\gamma_{app}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{abs}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$M_f$	C (%)	P (%)	$E_{sv}$ (%)	$E_{sp}$ (%)
<b>SD</b>	1431	2600	1,2	56	44	79	87
<b>SA</b>	1493	2580	2,5	58	42	86	89

### II.1.4. COMMENTAIRES DES RESULTATS

Les résultats de l'étude des sables utilisés permettent de tirer les conclusions suivantes:

- Les valeurs obtenues pour l'équivalent de sable montrent que les sables utilisés (SD, SA) sont des sables très propres, signe d'un manque presque total de fines argileuses.
- Elles montrent également que ces sables conviennent parfaitement pour la confection des bétons de haute qualité.

- Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse MF. Plus le module de finesse est faible plus le sable est riche en éléments fins.

Dans le cas du sable dunaire, le module de finesse ainsi obtenu ( $Mf = 1.2$ ) est inférieur à 1.80, ce qui confirme qu'il est riche en éléments fins.

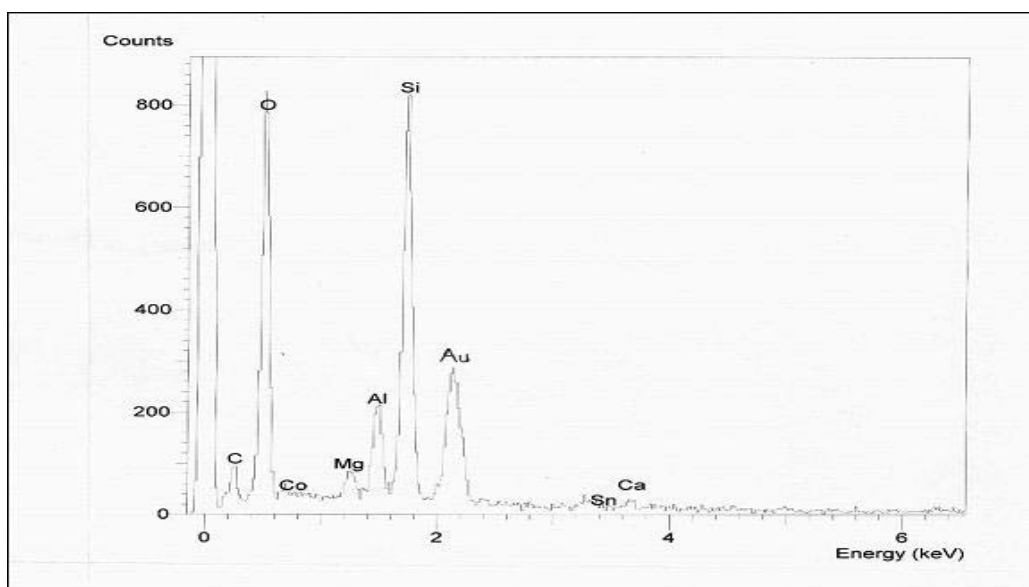
Par contre le sable alluvionnaire (SA) présente un module de finesse ( $Mf = 2.5$ ) supérieur à 2.20, ce qui confirme sa bonne finesse.

- Les résultats présentés par le tableau II-2 montrent que le sable (SA) est relativement dense et compact ce qui va donner, par conséquent, un béton ou un mortier plus résistant. Par contre le sable (SD) est un sable moins dense et moins compact ce qui influe négativement sur les propriétés physiques et mécaniques des bétons ou des mortiers, notamment lorsqu'il est utilisé seul.

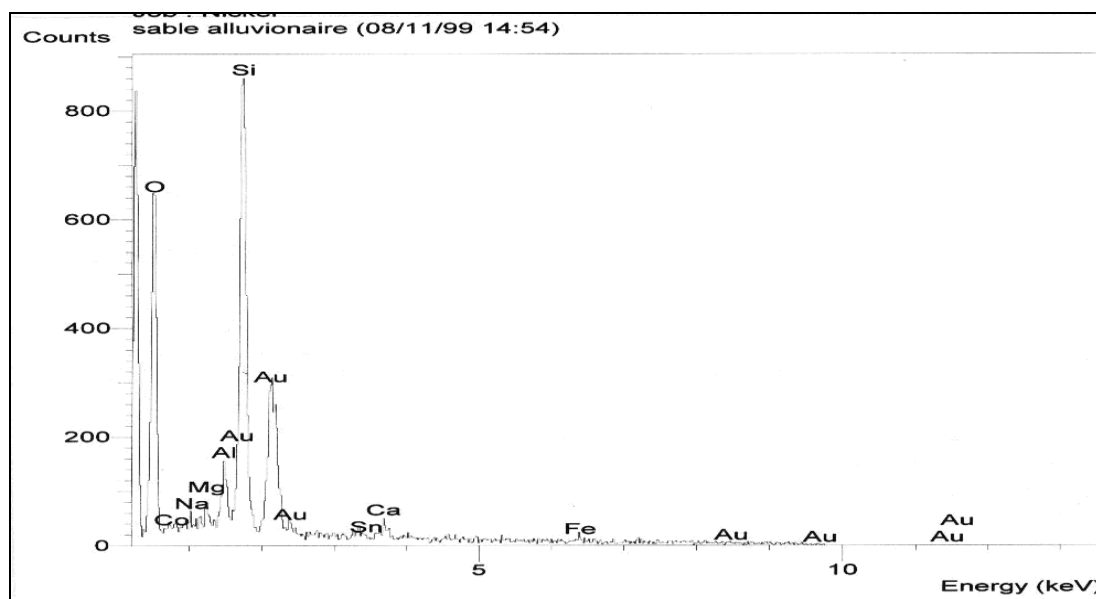
### II.1.5. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

L'analyse chimique des sables utilisés (SD et SA) est faite, par diffraction des rayons X, au laboratoire LTI d'Amiens en France par [BEDERINA M., 2000]. Cette analyse, révèle la présence d'atomes Si et O<sub>2</sub>. Leur pourcentage atomique important correspond à la présence prépondérante de l'espèce SiO<sub>2</sub> (silice), ce qui montre que ces deux types de sables sont essentiellement de nature siliceuse (**figures II. 3 et II. 4**).

Les autres valeurs de pourcentages atomiques, nous permettent d'établir que les deux sables étudiés, contiennent aussi quelques traces, en comparaison avec SiO<sub>2</sub>, d'espèces calciques et magnésiques.



**Figure II. 3 :** Analyse par diffraction aux rayons X du sable de dune [ BEDERINA. M, 2000]



**Figure II. 4 :** Analyse par diffraction aux rayons X du sable alluvionnaire [BEDERINA. M, 2000]

Enfin, il convient de noter que les deux sables présentent des grains qui semblent avoir des formes arrondies avec une faible angularité. Néanmoins, Les grains du sable alluvionnaire paraissent plus arrondis et plus gros que ceux du sable dunaire.

## II.2. LE CIMENT

Un seul type de ciment (**CPJ CEM II 42.5**) est utilisé dans toute l'étude afin de bien suivre l'évolution du comportement mécanique et la durabilité de béton utilisé. Pour pouvoir bien interpréter les résultats expérimentaux des essais effectués sur le béton étudié, il est nécessaire de déterminer certaines propriétés du ciment utilisé. Pour cela, différents essais sont effectués afin de déterminer ses caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques.

### II.2.1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

#### a)- Masse volumique absolue (poids spécifique)

La masse volumique absolue ( $\gamma_{abs}$ ) du ciment a été mesurée au moyen du densimètre *Le*

*Chatelier*. Le poids spécifique du ciment utilisé est de  $2.9 \text{ g/cm}^3$

#### b)- Surface spécifique et porosité

Elle est mesurée par comparaison avec un ciment de référence dont la surface spécifique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu au travers une poudre de ciment. Plus

la surface spécifique de cette poudre est importante et plus le temps mis par l'air pour traverser la poudre est long. Dans les conditions normalisées, la surface spécifique est proportionnelle à  $t^{1/2}$ . L'appareil d'essai est appelé « *Blaine* ».

La surface spécifique du ciment utilisé est de  $4071 \text{ g/cm}^2$  et sa Porosité est de 36.68 %.

### c)- Temps de prise

Il constitue une indication précieuse pour la mise en œuvre des mortiers et des bétons. Il varie en fonction de la nature du ciment (à prise lente ou rapide), de la finesse de mouture qui favorise l'hydratation et de la température qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et accélère la prise. Il est généralement supérieur à 90 mn pour les ciments courants, à une température de  $20^\circ\text{C}$ . L'essai de prise est réalisé avec l'appareil de *Vicat*.

Les résultats obtenus sont résumés comme suit :

- Le début de prise est de 3h 25' à froid et 35' à chaud ;
- La fin de prise est de 5h 65' à froid et 85' à chaud.

D'après les caractéristiques physiques étudiées, nous constatons que :

- La finesse élevée du ciment utilisé aura pour effet l'augmentation de la résistance mais elle aura une tendance à un retrait plus ou moins important.
- La prise du ciment à chaud est rapide, mais à froid elle satisfait aux spécifications des ciments courants.
- Le poids spécifique du ciment est inférieur à la moyenne habituelle des ciments courants qui est de l'ordre de  $3.1 \text{ g/cm}^3$ .

### II.2.2. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

L'analyse chimique du ciment utilisé, analyse du laboratoire de la cimenterie de M'sila, a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentages dans le tableau (II.3) :

**Tableau II.3:** Analyse chimique du ciment utilisé

Elément	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	Cl	CaO libre
(%)	19,70	4,52	3,49	62,15	1,79	2,27	0,49	0,25	0,02	1,00

Nous remarquons que le ciment utilisé contient des pourcentages appréciables de chaux et de silice. D'autre part, nous notons que ces résultats nous ont permis de déduire la composition minéralogique suivante :

- Silicate tricalcique .....  $C_3S$  = 60,31 %
- Silicate bicalcique .....  $C_2S$  = 17,40 %
- Aluminate tricalcique .....  $C_3A$  = 6,13 %
- Alumino-ferrite tétracalcique .....  $C_4AF$  = 11,97 %

Nous remarquons encore, que ce ciment contient un faible pourcentage d'aluminate tricalcique et de silicate tricalcique ce qui va donner des faibles résistances initiales.

### II.2.3. CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Les essais ont été réalisés en deux périodes différentes. Le nombre d'éprouvettes était égal, à chaque fois, à six. Les résultats moyens obtenus en compression et en traction sont :

$$R_{c28} = 40.00 \pm 2.28 \text{ MPa} \quad R_{c7} = 32.00 \pm 1.29 \text{ MPa} \quad R_{c2} = 17.00 \pm 1.05 \text{ MPa}$$

$$R_{t28} = 07.00 \pm 1.14 \text{ MPa} \quad R_{t7} = 05.50 \pm 0.95 \text{ MPa} \quad R_{t2} = 03.20 \pm 0.47 \text{ MPa}$$

Ces valeurs semblent logiques pour un ciment CPJ 42,5.

### II.3.EAU DE GACHAGE

Associée au ciment, l'eau remplit deux fonctions; d'une part elle sert à l'hydratation du ciment et d'autre part la fluidification de la pâte. On ne pourra utiliser n'importe quelle eau pour le gâchage du béton, un excès d'impuretés peut affecter les propriétés du béton frais et durci. L'eau de gâchage utilisée dans tous les essais est l'eau courante des robinets du laboratoire du département de génie civil de Laghouat. Afin d'éviter tout risque, l'analyse chimique de cette eau, effectuée au laboratoire de l'EPDEMIYA de Laghouat, révèle qu'elle est dépourvue des excès de sels, de sulfures et d'acides.

Les résultats sont donnés dans le tableau II.4.

**Tableau II.4:** Composition chimique de l'eau de gâchage

Composition chimique		Balance ionique (m.éq/l)		
Ca <sup>2+</sup> en mg/l	119.04	Balance Cations 15.10	5.94	
Mg <sup>2+</sup> en mg/l	32.93		2.71	
Na <sup>+</sup> en mg/l	144.90		6.30	
K <sup>+</sup> en mg/l	5.69		0.14	
Cl <sup>-</sup> en mg/l	169.96	Balance Anions 16.24	4.49	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> en mg/l	420		8.75	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en mg/l	153.80		2.52	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en mg/l	11.07		0.18	
Résidu sec à 110°C 1172mg/l	PH 7.77	Condition en 1/10mm à 25°C 16.30		Dureté totale 43.25
Test chlore (ml d'eau de Javel à 15°/m <sup>3</sup> ) 0.30ml/m		T.A.C 12.60	S.A.F 67.70	I.S 45.05
Minéralisation 1010.60	M.O milieu Acide En O <sub>2</sub> 8.53	SiO <sub>2</sub> 4.45mg/l		Somme des ions 1057.40
Cations	Ca <sup>2+</sup> =39.34%	Mg <sup>2+</sup> =18%		Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> = 43.01%
Anions	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 15.5%	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> = 53.8%		Cl <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 30.6%

#### II. 4. LES FILLERS

Les fillers utilisés dans notre étude sont de nature calcaire obtenus par tamisage au tamis 80µm des restes de concassage d'une carrière située à la sortie nord de la ville de Laghouat.

En ce qui concerne l'analyse chimique, les essais effectués au laboratoire des travaux publics de sud (LTPS) sur ces fillers montrent que ces derniers sont de nature essentiellement calcaire (plus de 97.5 (%) de carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>))

**Tableau II. 5:** Analyse chimique des fillers

Essais	Echantillon	Fillers
<b>(%) Insolubles</b>	Prise d'essai	
	Creuset + Précipité	69.21
	Creuset vide	69.20
	Poids du résidu (P1)	00.01
	50. P1	00.59
<b>(%) SO<sub>3</sub></b>	Creuset + Précipité	69.25
	Creuset vide	69.22
	Poids du résidu (P2)	00.02
	57.133. P2	00.83
<b>(%) CaSO<sub>4</sub></b>	29.162. P2	00.67
<b>(%) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Creuset + Précipité	64.59
	Creuset vide	64.59
	Poids du résidu (P3)	$4.5 \times 10^{-3}$
	166.668. P3	00.74
<b>(%) CaCO<sub>3</sub></b>	V NaOH	00.25
	(10 – V). 10	<b>97.50</b>

En effet, il faut rappeler que le choix de ce type de fillers est à cause des raisons suivantes :

- 1) Vu l'obligation d'utilisation des fillers dans la composition de base d'un béton de sable, car ces derniers complètent la courbe granulométrique du sable dans sa partie fine. Ils comblent les vides inter-granulaires et donnent une meilleure compacité au béton.
- 2) Valorisation des déchets disponibles localement en abondance et posant un problème d'environnement.
- 3) Les fillers calcaires, en particulier, sont les plus adaptés à ce type de béton et donnent les meilleures performances mécaniques [BARON. J, 1994, ROBU Ion, 2005].

Les principales caractéristiques physiques déterminées pour ces fillers sont :

- La masse volumique et elle est de l'ordre de 2900 kg/m<sup>3</sup>.
- La surface spécifique (Blaine) et elle est égale à environ 312 m<sup>2</sup>/kg.

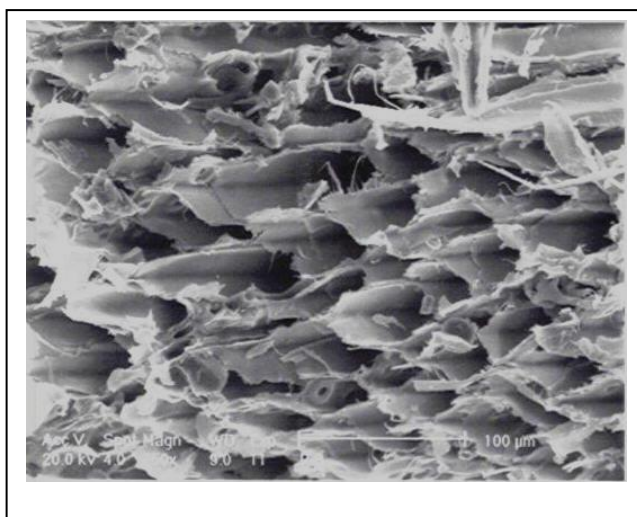
## II. 5. ADJUVANTS

Afin d'améliorer les performances du béton de sable, l'utilisation des adjuvants est indispensable [BEDERINA. M,2000]. L'adjuvant utilisé dans notre cas est un superplastifiant – haut réducteur d'eau de type « MEDAPLAST- SP 40 ». C'est une solution liquide qui se dilue facilement dans l'eau de gâchage. Le dosage recommandé par la fiche technique du fabricant [FICHE. T,2004] pour les bétons varie de 0,6 à 2,5 (%) du poids de ciment. L'utilisation de cet adjuvant permet :

- 1) d'améliorer la fluidité, d'augmenter la maniabilité, de réduire l'eau de gâchage, d'éviter la ségrégation et de faciliter la mise en œuvre dans le cas du béton frais.
- 2) d'augmenter les résistances mécaniques, même au jeune âge, de diminuer la porosité, d'augmenter la durabilité et de réduire le retrait dans le cas du béton durci.

## II. 6. LES COPEAUX DE BOIS

L'idée d'introduire des copeaux de bois dans des bétons de sable vient dans le but de se débarrasser, premièrement, de ces déchets et deuxièmement de profiter de certaines de leurs caractéristiques physiques (allègement, isolation thermique, isolation acoustique, etc.) Rappelons que, grâce à leur structure poreuse (fig. II.5), les grains de bois se caractérisent par une faible masse volumique et une bonne rugosité de surface.



**Figure II. 5:** Mise en évidence de la structure poreuse du bois utilisé

(G=750)

### II.6.1.ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Les copeaux de bois utilisés dans cette étude proviennent des déchets résultants des travaux de rabotage et de défonçage de la menuiserie. Leur limite granulométrique supérieure est

voisine de 8 mm et leur limite granulométrique inférieure est voisine de 0.125 mm.

## **II.6.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES**

### **1) Masse volumique absolue**

La masse volumique absolue des copeaux de bois a été assimilée à la densité apparente du bois massif que certains auteurs nomment « densité réelle ». La mesure de cette densité a été effectuée sur un bloc de bois massif 'sec' et elle est de l'ordre de 0.512.

### **2) Masse volumique apparente**

La masse volumique apparente des copeaux de bois est très délicate à déterminer car elle dépend de la granulométrie, de la teneur en eau et l'empilement des copeaux (état lâche ou compacté). Après plusieurs essais effectués selon la même procédure et dans des mêmes conditions (HR = 50 %, T = 20 °C), la densité obtenue est de l'ordre de 0,11.

### **3) Absorption d'eau**

Puisque l'absorption d'eau des granulats légers est importante et variable, elle a toujours été considérée comme une grosse difficulté sur les chantiers car elle entraîne d'importantes variations de plasticité et d'ouvrabilité des bétons. Avec le bois, on se trouve en face du même problème, d'où la nécessité de déterminer l'absorption d'eau des copeaux de bois utilisés. Exprimée en rapport massique Eau/Copeaux, l'absorption de nos copeaux de bois est de l'ordre de 37 %.

Notons que cette forte absorption, qui se situe aux premières minutes, risque d'influencer la quantité d'eau destinée à l'hydratation du ciment. Un pré-mouillage des copeaux de bois avant utilisation est alors indispensable.

## **II.7. TRAITEMENT DES COPEAUX DE BOIS**

### **II.7.1. INTRODUCTION**

Dans cette étude et dans le but de rechercher quelques améliorations sur certaines caractéristiques des composites étudiés, notamment la sensibilité à l'eau, nous avons pensé à traiter les copeaux de bois avant de les incorporer dans les bétons de sable [BEDERINA, M, 2007]. Pour des raisons de temps, seules la structure, la résistance mécanique, les variations dimensionnelles et la durabilité ont été étudiées.

### **II.7.2. CARACTERISATION DES BETONS DE SABLE A BASE DE COPEAUX DE BOIS**

D'après la littérature, différents traitements ont été appliqués aux granulats de bois avant de

les incorporer dans différentes matrices: des traitements par enrobage avec un liant, des traitements chimiques et des traitements par imprégnation de certains produits liquides etc.[LEDHEM .A, 1997 et GOTEICHA. M, 2005].

Plusieurs auteurs ont pu montrer que le traitement le plus efficace est celui de l'enrobage avec un liant minéral [ LEDHEM .A, 1997 et GOTEICHA. M, 2005]. C'est pour cette raison, donc, que nous avons opté pour un traitement par enrobage au ciment.

Un lait préparé en mélangeant le ciment avec de l'eau selon un rapport massique « ciment/bois » de l'ordre de 2.5, a été utilisé pour l'enrobage des copeaux de bois

[BEDERINA. M, 2000].

Une durée d'au moins deux semaines était nécessaire pour atteindre le durcissement convenable des copeaux traités. Une fois ces derniers sont prêts à l'utilisation (**figure II.6**), les deux composites sont préparés selon la même procédure utilisée dans le cas sans traitement.



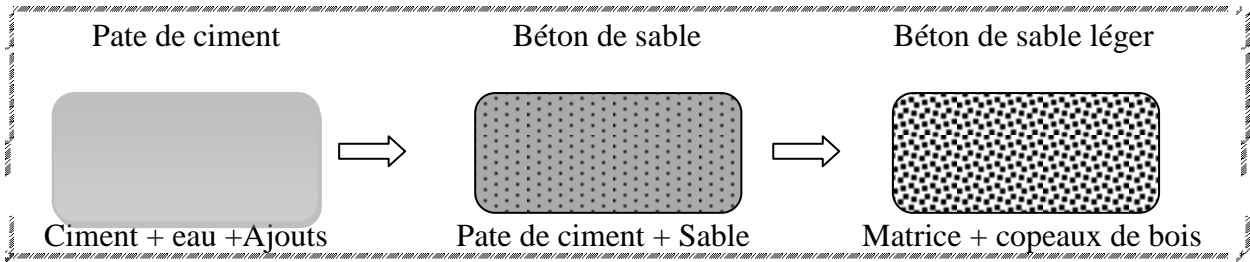
- Avant traitement

- Après traitement

**Figure II. 6:** Aspect général des copeaux de bois avant et après traitement au ciment

### III. COMPOSITES ETUDIÉS

Les composites étudiés sont des bétons de sables, dunaires et alluvionnaire, allégés par ajout de copeaux de bois (**Fig. II.7**).



**Figure II.7:** Préparation du composite

### III. 1. OPTIMISATION DE LA MATRICE

Dans des travaux antérieurs, et dans une étude de formulation menée sur des bétons de sable, dunaire et alluvionnaire, élaborés avec les mêmes matériaux de base utilisés dans cette étude [BEDERINA. M, 2000], des compositions optimales ont été déterminées (**tableau II.6**).

**Tableau II.6:** Compositions des deux bétons de sable (sans copeaux de bois)

Matériau	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	F (kg/m <sup>3</sup> )	E (l/m <sup>3</sup> )	SP * (%)
BSD	350	1305	200	245	2.5
BSA	350	1460	150	210	2.5

(\* Le pourcentage de l'adjuvant est calculé, en masse, par rapport à la masse de ciment)

∞ BSD : Béton de sable de dune.

∞ BSA : Béton de sable alluvionnaire.

Ces compositions ont été prises comme compositions de base pour la préparation des matrices des deux composites étudiés tout en prévoyant, à chaque fois, l'eau nécessaire à l'absorption des copeaux de bois.

### III.2 MODE D'AJOUT DE COPEAUX DE BOIS

Pour introduire les copeaux de bois dans les bétons de sable étudiés, nous avons opté pour l'ajout de bois au béton de sable en *plus* [BEDERINA. M, 2007].

### III. 3. MALAXAGE ET APRES MALAXAGE

Le malaxage et après malaxage sont faits dans des périodes où les conditions climatiques intérieures de la salle du laboratoire se rapprochent des conditions climatiques réelles, à savoir la température est de (20 °C ± 5 °C) tandis que l'humidité relative est de (50 % ± 10 %).

### a) Malaxage

Pour permettre une meilleure interprétation des résultats, chaque essai est réalisé sur des échantillons de même taille.

Pour mieux contrôler l'eau de gâchage, qui joue un rôle important dans les propriétés (physico-mécaniques) des matériaux, les matières premières (sable, ciment, filler et copeaux de bois) sont préalablement séchées. Un malaxage à sec est indispensable pour bien homogénéiser le mélange constitué de sable, de ciment et de filler. Ces derniers sont donc introduits dans un malaxeur et mélangés pendant trois minutes à vitesse lente. Le mélange étant parfaitement homogène, on ajoute les granulats de bois saturés d'eau, en conservant le malaxage à vitesse lente pendant trois minutes. Les copeaux de bois ont été ajoutés au mélange sec à l'état saturé [TAMBA. S, JAUBERTHIE. R , 2001, PASCALE. C et AL, 2006], pour les raisons suivantes :

- Il a été remarqué qu'avec des copeaux de bois saturés, la dispersion dans le mélange sec est meilleure.
- Les copeaux, à l'état saturés, sont plus résistants à l'usure interne causée par le malaxage et leur granulométrie reste presque inchangée.
- L'eau de gâchage, destinée à l'hydratation du ciment et à la maniabilité du béton, ne sera pas absorbée par les copeaux de bois.

L'eau de gâchage est ensuite ajoutée progressivement. L'homogénéisation du matériau est assurée par un malaxage à vitesse lente pendant trois minutes puis à vitesse rapide une minute.

### b) Après malaxage

Après malaxage, le matériau est introduit dans des moules de (4 x 4 x 16 cm). La mise en place du mélange se fait par coulage de presque la moitié du moule avec une légère vibration et une frappe de 30 coups. Ensuite on continue le coulage de la deuxième moitié du moule avec une vibration de 30 coups. L'excès de béton est enlevé par arasement.

Après la mise en moule, les éprouvettes sont conservées dans une salle humide.

Au bout de 24 heures elles sont démoulées et conservées pendant 24 heures dans l'eau puis directement dans l'air (ambiance du laboratoire). Après 28 jours, les éprouvettes sont conservées directement dans un milieu de conservation agressif, préparé au préalable, Jusqu'au jour de l'essai,

### III. 4. TECHNIQUES DE MESURES EXPERIMENTALES

Dans cette partie de ce chapitre, nous allons décrire les principales techniques expérimentales utilisées pour l'identification des différentes caractéristiques des composites étudiés.

#### III. 4.1. ESSAIS MECANIQUES

Pour pouvoir bien apprécier le comportement mécanique des bétons vis-à-vis de l'attaque des agressions chimiques, on a été amené à faire les essais de mesure de la résistance à la flexion et à la compression.

Les essais sont effectués sur 03 éprouvettes prismatiques ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ) pour la flexion puis sur 06 éprouvettes cubiques ( $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ ) pour la compression. Les valeurs prises en compte sont les moyennes des résultats trouvés : soit la moyenne de 03 résultats pour la flexion et la moyenne de 06 résultats pour la compression.

#### III.4.2. ESSAI DE RUPTURE PAR FLEXION

L'essai s'effectue à l'aide d'une machine automatique dite CBR à anneaux dynamométriques 5 et 10 kN de capacité conformément à la norme « NFP 18-407 » relative à l'essai d'écrasement en traction par flexion sollicitant l'éprouvette à une flexion à 3 points (Figure II.08 et II.09).

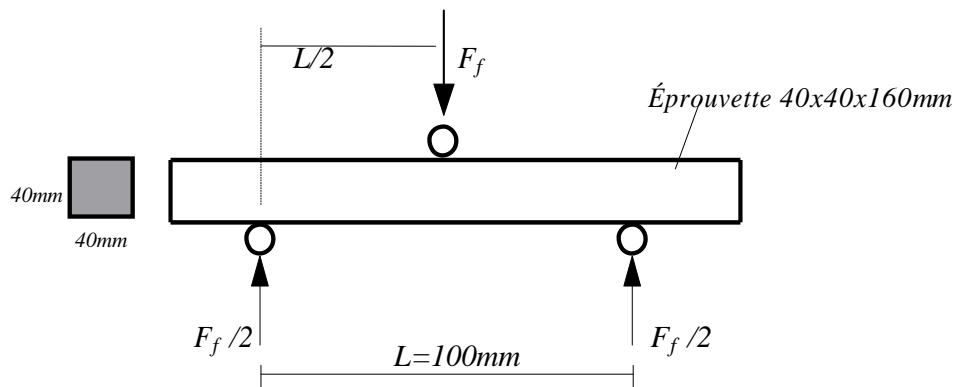


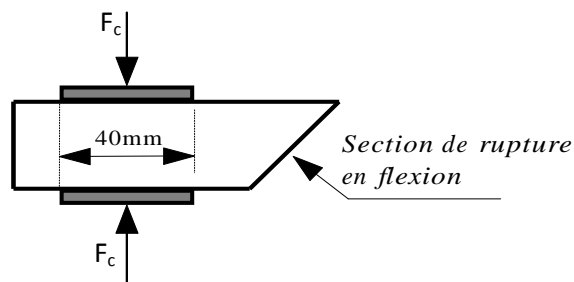
Figure II.08 : Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion



**Figure II.9:** Photo de la presse avec dispositif de flexion

### III. 4. 3. ESSAI DE RUPTURE PAR COMPRESSION

Les demi-prismes obtenus après rupture en flexion de l'éprouvette ont été soumis à la compression au moyen d'une presse suivant le dispositif schématisé sur la figure II.10 et II.11.



**Figure II.10:** Dispositif pour l'essai de résistance à la compression



**Figure II.11 :** Photo de la presse avec dispositif de compression

### III. 4. 4. MESURE DE POIDS

Les éprouvettes sont immergées dans les solutions des agressions chimiques. Leurs poids initiaux sont ceux mesurés après 28 jours de conservation dans l'eau, les éprouvettes sont pesées périodiquement après les avoir séchées à l'étuve à une température de 105°C. Puis on les remet de nouveau dans les solutions des agressions chimiques. La variation de poids est donnée par la formule suivante :

$$\frac{\Delta(m)}{m} = \frac{m(t) - m(t_0)}{m}$$

Où  $m(t_0)$  est le poids de l'éprouvette avant immersion dans les solutions des agressions chimiques.



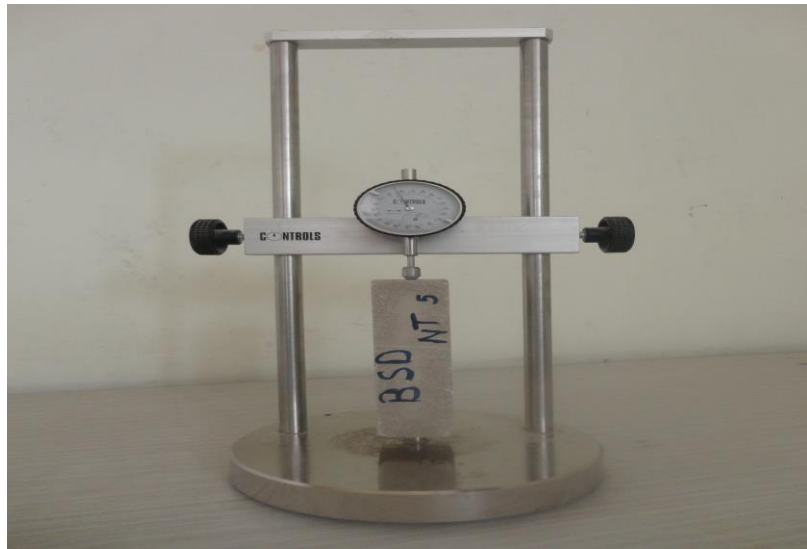
**Figure II. 12 :** Photo de la balance de mesure de poids

### III. 4. 5 MESURE DE RETRAIT ET DE GONFLEMENT

L'équipement nécessaire, tel que celui schématisé sur la figure (II.13), équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieures ou égales à 0,005 mm. Une tige de 160 mm de longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre.

L'essai, décrit par la norme « NF P 15-433 », exige que la conservation des échantillons soit dans une salle où la température est maintenue à  $(20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C})$  et l'humidité relative à  $(50 \pm 5 \%)$ . Cet essai consiste à comparer, à différents temps ( $t$ ), la variation de longueur d'une éprouvette (4 x 4 x 16 cm), par rapport au temps ( $t_0$ ) pris comme origine.

En général, cette origine est prise au moment du démoulage, soit 24 heures après la confection des éprouvettes.



**Figure II.13 :** Photo de l'appareil de mesure du retrait

### III.4.6.ESSAIS DE DURABILITE

#### III.4.6.1. RESISTANCE AUX MILIEUX AGRESSIFS

Parmi les principales réactions décrivant les mécanismes fondamentaux de l'altération des bétons par réactions chimiques, on trouve l'hydrolyse des hydrates de la pâte de ciment durcie et la réaction entraînant la formation des produits expansifs. La conjugaison de ces deux processus, conduisant à la dégradation chimique du matériau et à la formation d'un hydrate expansif qui ont des conséquences d'ordre macroscopique, en particulier d'ordre mécanique : chute de résistance et de rigidité, fissuration et déformation du matériau, et d'ordre physico-chimique : affaiblissement des propriétés liantes, modification de la porosité et des propriétés de transport. L'étude entreprise ici porte sur l'analyse du mécanisme de dégradation du béton par les agressions chimiques.

Les essais de résistance aux milieux agressifs sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ). La concentration en agent agressif des milieux de conservation est prise de l'ordre de 10%. Les éprouvettes ont subi le même type de cure avant l'essai de durabilité vis à vis de l'attaque des milieux agressifs.

Les éprouvettes sont conservées à l'air libre du laboratoire, sous une température de  $20 \pm 2 \text{ C}$ , et une humidité de  $45 \pm 2 \text{ HR}$  jusqu'à l'âge de 28 jours.

Les solutions ont été préparées avec de l'eau distillée pour mieux constater le phénomène de dégradation. Elles sont, donc, préparées comme suit : on a fait dissoudre 100g des produits  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{NaCl}$  et  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dans un litre de l'eau distillée. Les solutions sont échangées périodiquement afin que les solutions puissent garder le même degré d'agressivité et pénétrer avec la même concentration dans les éprouvettes.

#### III.4.6.2. MILIEUX DE CONSERVATION DES EPROUVETTES

Les milieux utilisés dans les essais de la durabilité sont les suivantes :

- **L'eau saturée en chaux  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (milieu A):**

La chaux est dissoute dans l'eau à une concentration de 100 g/l.

- **Sulfates de magnésium  $\text{MgSO}_4$  (milieu B) :**

Le sulfate de magnésium est dissout dans l'eau à une concentration de 100 g/l.

- **Le chlorure de sodium  $\text{NaCl}$  (milieu C):**

Le chlorure de sodium est dissout dans l'eau à une concentration de 100 g/l.



**Figure II.14 :** Bouteilles contenant les solutions de conservation

#### IV. CONCLUSION

D'une façon générale, et à l'exception des copeaux de bois, les différentes analyses physiques et chimiques menées sur les matériaux premiers nécessaires pour la fabrication du composite étudié, montrent qu'il n'y a aucun risque qui peut affecter les propriétés du composite et qui exige la prise de certaines précautions afin de remédier à un éventuel problème ou revoir complètement un autre constituant.

Toutes les caractéristiques physiques et chimiques sont donc bonnes ou acceptables.

Par contre, les copeaux de bois sont très hydrophiles, en particulier en l'absence de traitement, ce qui nous orienter vers leur traitement avant leur utilisation.

Le traitement envisagé dans le présent travail est un enrobage superficiel au ciment.

A la fin de ce chapitre, les techniques expérimentales qui ont été utilisées pour la détermination des différents paramètres étudiés ont été présentées.

## Chapitre III. Caractérisation physico-mécanique

---

### III.1. INTRODUCTION

Les déchets de bois ont été déjà utilisés comme granulats pour remplacer partiellement les granulats naturels dans la production des blocs de maçonnerie légers. Toutefois, la différence entre les granulats du béton léger et ceux du béton ordinaire, réside dans la différence de la quantité dans le mélange à concevoir, parce que les granulats légers influencent la masse volumique du béton, par contre la masse volumique du béton ordinaire est presque constante. C'est ainsi que la masse volumique du béton léger peut influencer la résistance à la compression, car le caractère absorbant des granulats légers, influence la consommation d'eau du béton, qui est ignorée. Il est donc très difficile de mesurer la quantité de l'eau de gâchage nette ou le rapport effectif *Eau/Ciment*.

Dans cette partie, on présente les résultats de l'étude expérimentale réalisée sur les différents types du béton : *béton de sable dunaire* et *béton de sable alluvionnaire* à base de *copeaux de bois traités et non traités*. Une discussion de ces résultats avec une tentative d'explication de la performance de différents matériaux est aussi proposée.

Les composites étudiés dans ce travail sont obtenus par adition de copeaux de bois aux bétons à base de sable dunaire et alluvionnaire. L'ajout de copeaux de bois a pour but, premièrement l'allègement des bétons de sable pour permettre une mise en œuvre facile, deuxièmement l'amélioration de leur pouvoir isolant pour leur permettre une utilisation dans des éléments isolants - porteurs.

Nous abordons tout d'abord l'étude de la caractérisation physico-mécanique des bétons de sable à base de copeaux de bois traité et non traité, à savoir la résistance à la compression, la résistance à la flexion et la variation du retrait, puis nous étudions enfin les pertes en poids dans le temps pour les différents bétons de sable étudiés.

### III.2. COMPOSITION ET CARACTERISTIQUES DES BETONS FRAIS

En se basant sur la recherche d'un béton de bonne mise en œuvre [BEDERINA, 2000], les compositions retenues dans la suite du travail sont représentées dans le tableau III.1.

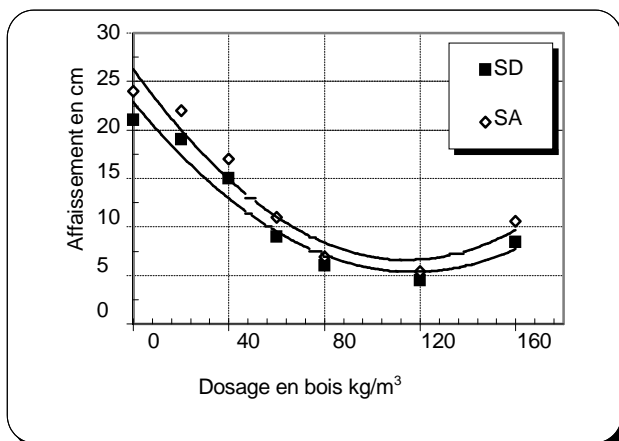
**Tableau III.1:** compositions des bétons de sable à base de copeaux de bois

Constituants	Dosages de constituants	
	BSD	BSA
<b>Composition</b>		
<b>Ciment (kg/m<sup>3</sup>)</b>	350	350
<b>Sable (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1305	1460
<b>Eau (l/m<sup>3</sup>)</b>	245	210
<b>Adjuvant (%)</b>	2,5	2,5
<b>Filler (kg/m<sup>3</sup>)</b>	200	150
<b>E/C</b>	0,70	0,60

La maniabilité des bétons de sable (dunaire et alluvionnaire) sans copeaux de bois a été également étudiée dans des travaux précédents [BEDERINA. M, 2000]. Elle dépend du dosage de tous les constituants et essentiellement du dosage en eau. Elle s'améliore, comme pour tous les bétons, avec l'augmentation du rapport E/C. Cependant elle diminue avec l'augmentation du dosage en filler jusqu'à un certain optimum, puis elle commence à s'améliorer.

Toutefois l'augmentation de la quantité d'eau de gâchage améliore la maniabilité mais diminue la résistance. D'après plusieurs études expérimentales [BEDERINA. M, 2007] ], l'effet des copeaux de bois sur la maniabilité du béton de sable a été apprécié en envisageant différentes teneurs en bois. Pour chaque composition, on a mesuré l'affaissement au cône d'Abrams.

Les résultats ainsi obtenus sont représentés à la figure III.1.



**Fig. III.1:** Evolution de l'affaissement au cône d'Abrams en fonction de la teneur en copeaux de bois (E/C=1) [BEDERINA. M, 2007]

On constate que l'incorporation de copeaux de bois dans le béton de sable, avec des proportions allant de 0 à  $120 \text{ kg/m}^3$  environ, diminue la maniabilité. Ceci est peut être dû au fait que les copeaux de bois jouent un rôle de fibre et augmentent la cohésion entre les différents grains du mélange. Au delà de  $120 \text{ kg/m}^3$ , une légère amélioration est enregistrée.

### **III.3. COMPORTEMENT MECANIQUE DES BETONS DURCIS**

Comme pour la plupart des autres matériaux, la résistance du béton est fondamentalement dépendante des vides qu'il comporte. Elle est très influencée par le volume des vides : air occlus, pores capillaires, pores de gel et air entraîné. Dans notre cas, l'ajout de bois confère au béton de sable une porosité considérable. Cette porosité est d'autant plus élevée que la teneur en bois est plus grande. L'effet du traitement des copeaux de bois, vu leur importance pour les bétons de sable, a été également étudié.

Les paramètres mécaniques mesurés sont la résistance à la compression et la résistance à la flexion. Elles sont déterminées, à 28 jours, selon les techniques présentées au paragraphe III.5.3 dans le chapitre II.

#### **III.3. 1. RESISTANCE A LA COMPRESSION**

On classe généralement aussi les bétons selon leurs résistances mécaniques à 28 jours. Plusieurs facteurs ont une influence sur cette résistance, comme par exemple le rapport E/C, le rapport G/S, la classe de ciment et mêmes les propriétés des granulats (densité, état de surface...). La résistance mécanique en compression des bétons de bois est, quelle que soit la masse volumique apparente, sensiblement plus faible que celle des bétons. Il est utile de noter que le comportement mécanique des bétons de bois est très différent de celui des bétons de granulats minéraux.

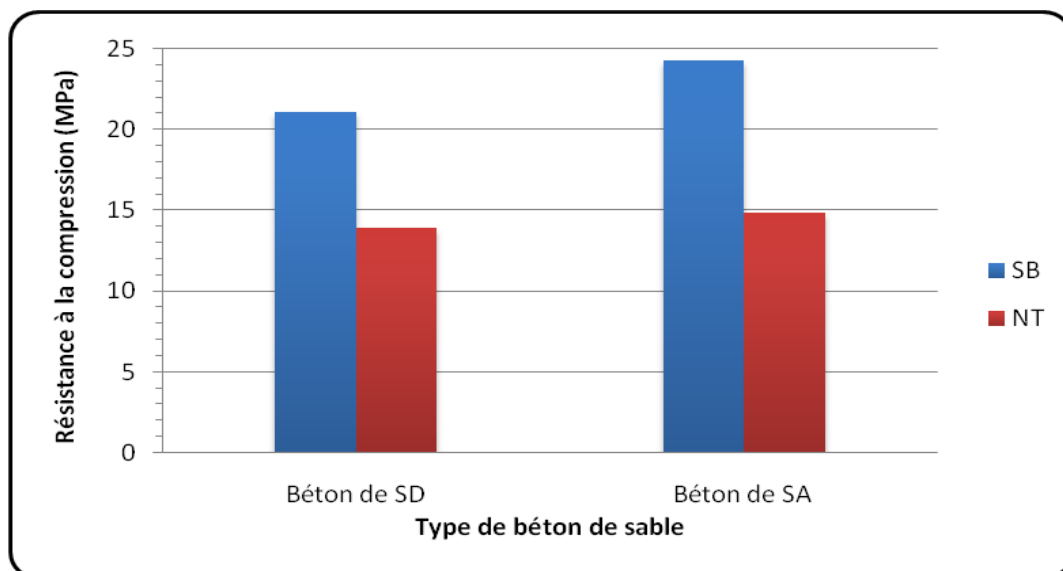
##### **III-3. 1.1. EFFET DE L'AJOUT DE COPEAUX DE BOIS**

Nous avons mesuré la résistance mécanique à la compression comme expliqué au chapitre précédent. Les résistances à la compression en fonction des différents types de béton de sable étudiés sont présentes dans tableau III.2 et illustrées par la figure III.2.

**Tableau III.2:** Résistances à la compression des deux bétons de sable à base de copeaux de bois, avant et après traitement, à 28 jours dans l'air libre (dosage en bois:  $B = 40 \text{ kg/m}^3$ )

Type de béton de sable	Résistance à la compression (MPa) à 28 jours	
	BSD	BSA
<b>Sans Bois (SB)</b>	$21.08 \pm 0.84$	$24.27 \pm 2.06$
<b>Bois Non Traité (NT)</b>	$13.91 \pm 0.60$	$14.84 \pm 0.40$
<b>Bois Traité (T)</b>	$15.57 \pm 0.33$	$16.95 \pm 3.03$

La figure III.2 permet de montrer l'effet de l'ajout de copeaux de bois sur la résistance à la compression, sur les deux bétons de sable dunaire et alluvionnaire.



**Figure III.2:** Influence de l'ajout des copeaux de bois sur la résistance à la compression à 28 jours

Nous constatons, d'après la figure si dessus, que la résistance en compression diminue avec l'ajout des copeaux de bois, ceci est tout à fait logique car la résistance à la compression est, comme pour les bétons classiques, une fonction croissante de la masse volumique. Il a aussi été montré que la résistance du béton témoin se développe plus rapidement que le béton de bois. On pourra expliquer ceci par l'effet négatif des sucres; qui est l'un des défauts majeurs de ces granulats, sur l'évolution de la résistance mécanique des bétons de bois.

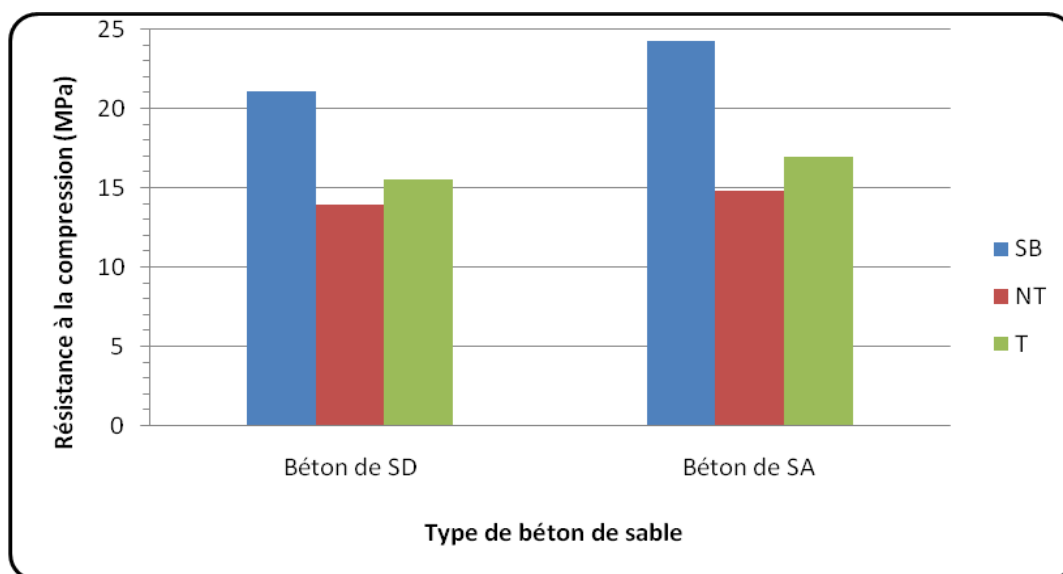
Pour des dosages en copeaux de bois de  $40 \text{ kg/m}^3$ , les résistances obtenues en compression diminuent de 21,08 à 13,91 MPa dans le cas du béton de sable dunaire et de 24,27 à 14,84 MPa dans le cas du béton de sable alluvionnaire.

Enfin, il faut bien noter que les résultats obtenus sont comparables à ceux d'autres études [BEDERINA, 2000 et GOTTEICHA, 2005].

### III.3. 1. 2. EFFET DE TRAITEMENT DE COPEAUX DE BOIS

On constate d'après les résultats obtenus que le traitement des copeaux (par enrobage) améliore la résistance à la compression du composite. Ceci pourra s'expliquer par le fait que la microstructure de la matrice est plus compacte et donc plus résistante et par la compatibilité du liant utilisé avec le liant de la matrice (le même ciment).

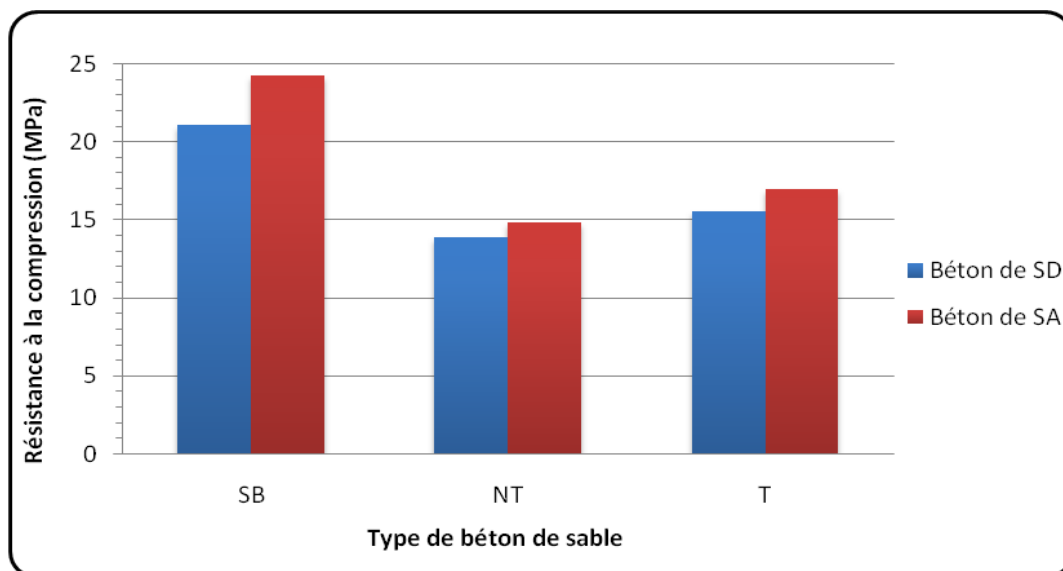
Après traitement, et pour des dosages en copeaux de bois de  $40 \text{ kg/m}^3$ , les résistances obtenues en compression augmentent de 13,91 à 15,57 MPa dans le cas du béton de sable dunaire et de 14,84 à 16,95 MPa dans le cas du béton de sable alluvionnaire.



**Figure III.3:** Influence du traitement de copeaux de bois sur la résistance à la compression à 28 jours

### III.3. 1. 3. INFLUENCE DU TYPE DE SABLE

Afin de voir l'influence du type de sable sur la résistance à la compression à travers les différents bétons étudiés, on a choisi de faire une comparaison des résistances en compression à court terme entre les bétons de sable dunaire et les bétons de sable alluvionnaire. Cette comparaison est schématisée donc par la figure III.4.



**Figure III.4:** Influence du type de sable sur les résistances à la compression à 28 jours

D'après cette figure, on remarque que les résistances en compression enregistrées à 28 jours pour les bétons de sable alluvionnaire sont supérieures à celles enregistrées pour les bétons de sable dunaire. Cette augmentation est de l'ordre de **13 %** dans le cas de béton sans bois. Dans le cas où on ajoute des copeaux de bois non traités et traités, cette augmentation est respectivement de l'ordre de **6 %** et **8 %**.

L'utilisation des sables de dunes conduit à une importante baisse des résistances causée par le fait que les bétons contenant ces sables sont plus poreux et donc moins compacts.

Les teneurs en eau au malaxage ne sont pas les mêmes pour une même consistance. La demande élevée en eau diminue la résistance, car elle favorise l'augmentation de la porosité, ce qui influe énormément sur la compacité du béton et par conséquent sur la résistance.

Nous constatons, d'après la figure III.4, que l'écart entre la résistance à la compression pour le béton de sable dunaire et la résistance à la compression pour le béton de sable alluvionnaire est particulièrement faible pour tous les types des bétons (SB, NT, T). La résistance à la compression des bétons de sable de dune représente 87 à 94 % de la résistance à la compression du béton de sable alluvionnaire. Cette différence est due à la granulométrie seulement, puisque les deux sables sont de même nature (nature siliceuse).

### III.3. 2. RESISTANCE A LA FLEXION

Nous avons mesuré également la résistance à la flexion des différentes compositions des bétons étudiés par l'essai de flexion à trois points. Les essais sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques  $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ . Pour chaque composition, les mesures sont effectuées sur trois (03) éprouvettes.

Les bétons sont conservés à l'air libre pendant 28 jours.

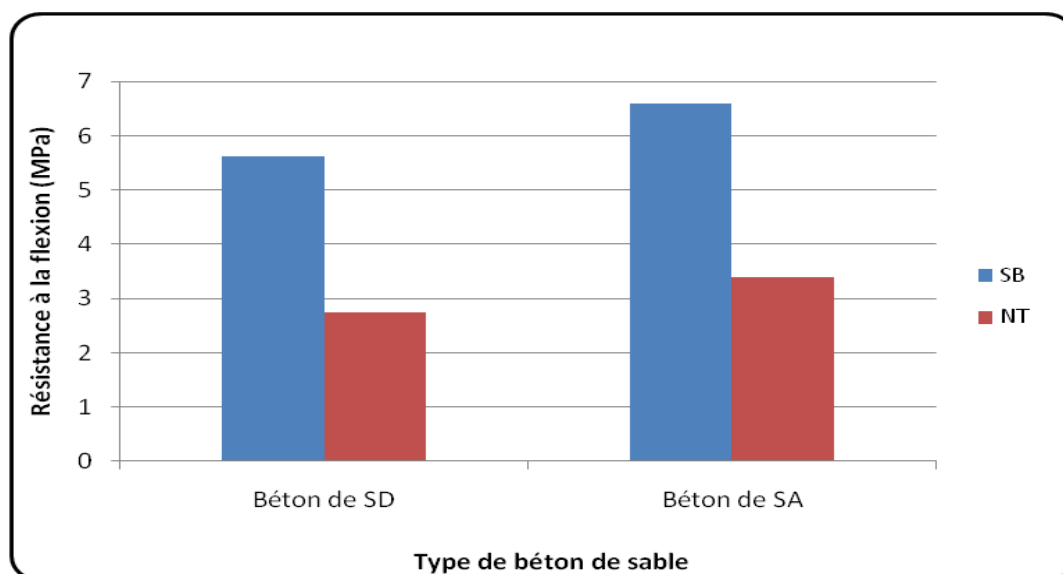
Les résultats obtenus sont montrés dans le tableau III.3 et illustrés par la figure III.5.

**Tableau III.3:** Résistances à la flexion des deux bétons de sable à base de copeaux de bois, avant et après traitement à 28 jours

Type de béton de sable	Résistance à la flexion à 28 jours (MPa)	
	BSD	BSA
<b>Sans Bois (SB)</b>	5.62 ±0.92	6.59 ±1.01
<b>Bois Non Traité (NT)</b>	2.75 ±0.74	3.41 ±0.54
<b>Bois Traité (T)</b>	3.06 ±0.83	3.89±1.06

### III.3. 2. 1. EFFET DE L'AJOUT DE COPEAUX DE BOIS

On voit que les résistances à la flexion diminuent avec l'ajout des copeaux de bois, quelque soit le type du béton de sable.



**Figure III.5:** Influence de l'ajout des copeaux de bois sur la résistance à la flexion à 28 jours

La meilleure résistance observée correspond au béton de sable alluvionnaire sans copeaux de bois. Ceci est dû l'effet de la bonne granulométrie du sable alluvionnaire. D'après la figure III-5, on remarque que les deux bétons présentent des résistances intéressantes. A 28 jours la résistance, pour les deux bétons de sable (dunaire et alluvionnaire), est

respectivement de l'ordre de 5.62 MPa et 6.59 MPa .

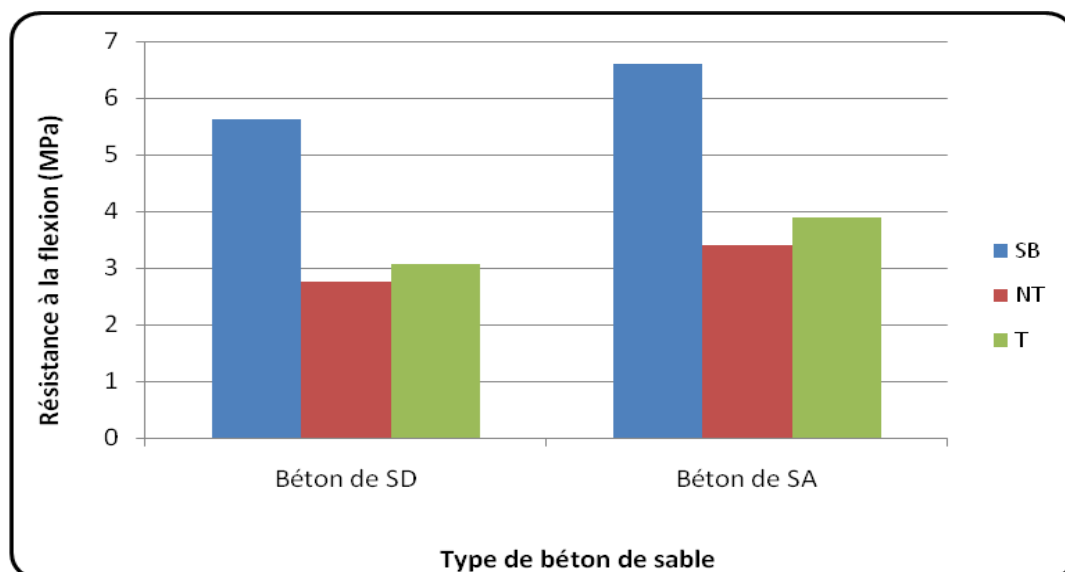
Nous constatons aussi que les résistances en flexion diminuent avec l'ajout des copeaux de bois, ceci est tout à fait normal, puisque la résistance à la flexion est, comme pour les bétons, une fonction croissante de la masse volumique.

Pour des dosages en copeaux de bois de  $40 \text{ kg/m}^3$ , la résistance obtenue en flexion diminue de 5,62 à 2,75 MPa dans le cas du béton de sable dunaire et de 6,59 à 3,41 MPa dans le cas du béton de sable alluvionnaire, soient en pourcentages 51% et 48%.

### III.3. 2.2. EFFET DE TRAITEMENT DE COPEAUX

La figure III.6, présente l'effet du traitement de copeaux de bois sur la résistance à la flexion, des deux bétons étudiés.

On constate d'après les résultats obtenus que le traitement des copeaux améliore la résistance à la flexion du composite. Ceci pourra s'expliquer par le fait que la microstructure de la matrice est plus compacte et donc plus résistante ainsi qu'à la compatibilité du liant utilisé pour le traitement avec le liant de la matrice.



**Figure III.6:** Influence du traitement de copeaux de bois sur la résistance à la flexion à 28 jours

Pour des dosages en copeaux de bois de  $40 \text{ kg/m}^3$ , les résistances obtenues en flexion augmentent de 2,75 à 3,06 MPa dans le cas du béton de sable dunaire et de 3,41 à 3,89 MPa dans le cas du béton de sable alluvionnaire soient en pourcentages 11.2 et 14% .

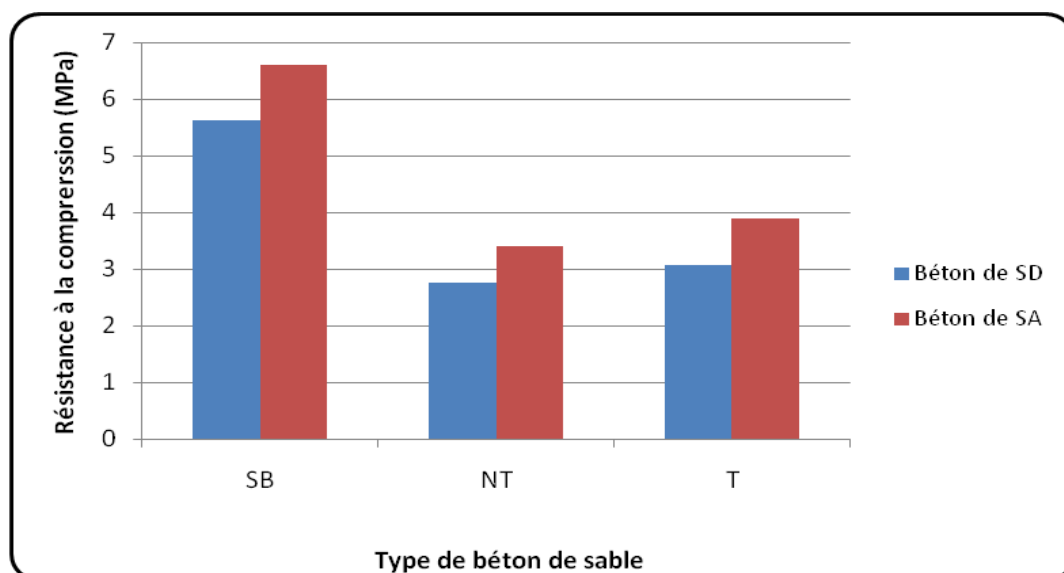
Ces résultats rejoignent les travaux de [LEDHEM et all ] qui ont montrés que les traitements des copeaux de bois par enrobage avec des liants (ciment et chaux) améliorent les résistances mécaniques d'un composite argile- ciment- bois.

De même, les résultats que nous avons obtenus pour l'effet du traitement de copeaux de bois sont comparables à ceux rencontrés dans la littérature pour le même matériau [BEDERINA, 2000 et GUOTICHA, 2005]

### III-3. 2. 3. INFLUENCE DU TYPE DE SABLE

Afin d'étudier l'influence du type de sable sur la résistance à la flexion des différents bétons confectionnés, on a choisi de faire une comparaison entre les résistances en flexion à court termes des bétons de sable dunaire (BSD) et des bétons de sable alluvionnaire (BSA).

La figure III.7 schématise clairement cet effet. D'après cette figure, on remarque que les résistances en flexion pour les bétons de sable (BSA) sont supérieures que celles des bétons de sable dunaire (BSD). Cette augmentation est de l'ordre de **13 %** dans le cas de béton sans bois. Dans le cas où on ajoute des copeaux de bois non traités et traités, cette augmentation est respectivement de l'ordre de **6 %** et **8 %**.



**Figure III.7:** Influence du type de sable sur les résistances à la flexion à 28 jours

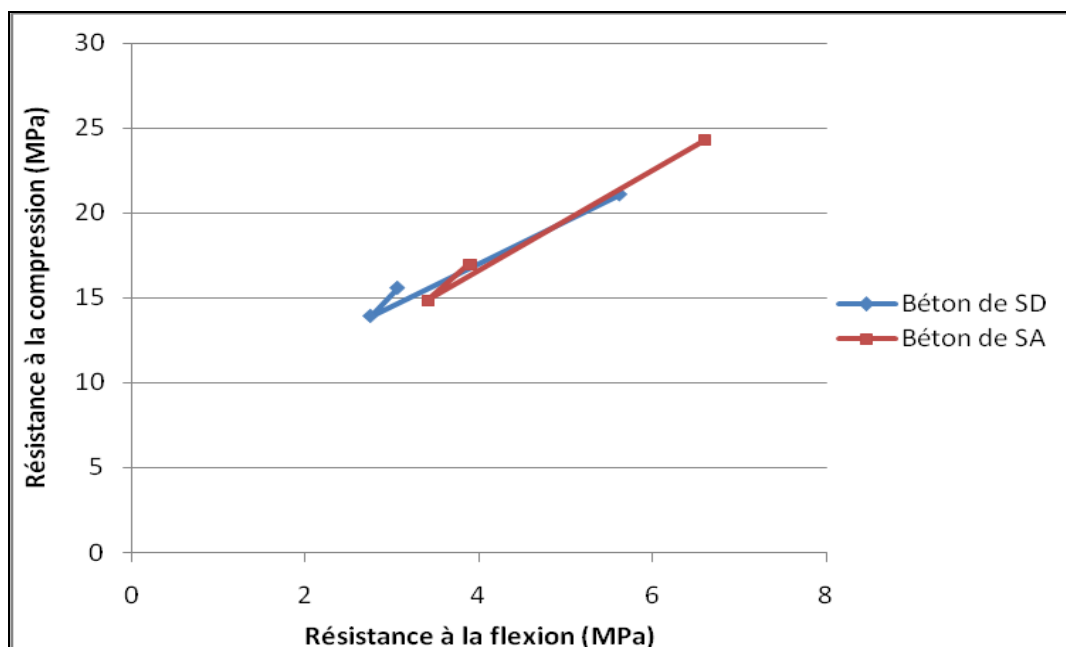
Nous constatons également que l'écart entre la résistance à la compression du béton de sable dunaire et la résistance à la compression du béton de sable alluvionnaire est particulièrement faible pour tous les cas (SB, NT et T). La résistance à la compression du béton de sable de dune représente en fait 87 à 94 % de la résistance à la compression du béton de sable alluvionnaire.

### III.3.3. RELATION ENTRE LA RESISTANCE A LA FLEXION ET LA RESISTANCE A LA COMPRESSION

Le tableau III.4 et la figure III.8 montrent l'évolution de  $R_c$  en fonction  $R_f$  pour les différentes compositions de bétons de bois étudiés.

**Tableau III.3:** Résistances à la flexion et à la compression des deux bétons de sable à base de copeaux de bois, avant et après traitement à 28 jours

Type de béton de sable	Béton de sable dunaire BSD		Béton de sable alluvionnaire BSA	
	Rc (MPa)	Rf (MPa)	Rc (MPa)	Rf (MPa)
Sans Bois (SB)	21.08	5.62	24.27	6.59
Bois Non Traité (NT)	13.91	2.75	14.84	3.41
Bois Traité (T)	15.57	3.06	16.95	3.89



**Figure III.08:** Relation entre la résistance à la flexion et celle de compression des deux bétons de sable

D'après l'allure des deux courbes, on constate que la résistance à la flexion est proportionnelle à la résistance à la compression pour les deux types du béton de sable (dunaire, alluvionnaire). En général, et selon les différentes recherches consultées, pour les bétons de bois, le rapport entre la résistance à la compression et la résistance à la traction est de l'ordre de 2, tandis que pour notre béton de bois, ce rapport varie entre 3,80 et 5,07 dans le cas des BSD et entre 3,70 et 4,35 dans le cas des BSA. Pour le béton témoin (sans copeaux de bois), il est de l'ordre 3.8. Cette différence est liée à la composition de la matrice et au dosage en bois utilisé. Il est à noter que ce rapport est de

l'ordre de 10 pour les bétons traditionnels.

Notons enfin qu'en ce qui concerne le béton de sable avec ajout de copeaux de bois, les valeurs trouvées (3,75 et 5 MPa) sont très proches des valeurs trouvées par d'autres études [BOUHAMOU.N, 2004].

### **III.4. COMPORTEMENT PHYSIQUE DES BETONS DURCIS**

#### **III.4.1: RETRAIT**

Lors du séchage, et en absence de toute charge extérieure, les échantillons diminuent spontanément de volume. Cette diminution s'appelle variation dimensionnelle ou encore retrait. Ce phénomène est dû principalement à l'évaporation d'une quantité importante de l'eau de gâchage. Rappelons, qu'en réalité, l'hydratation du ciment ne nécessite qu'une petite quantité de l'eau de gâchage ; la plus grande partie de cette eau est destinée à la maniabilité lors du malaxage et elle doit s'évaporer par la suite. Le retrait a des conséquences très graves sur le béton (des fissures dans la construction) s'il n'est pas limité.

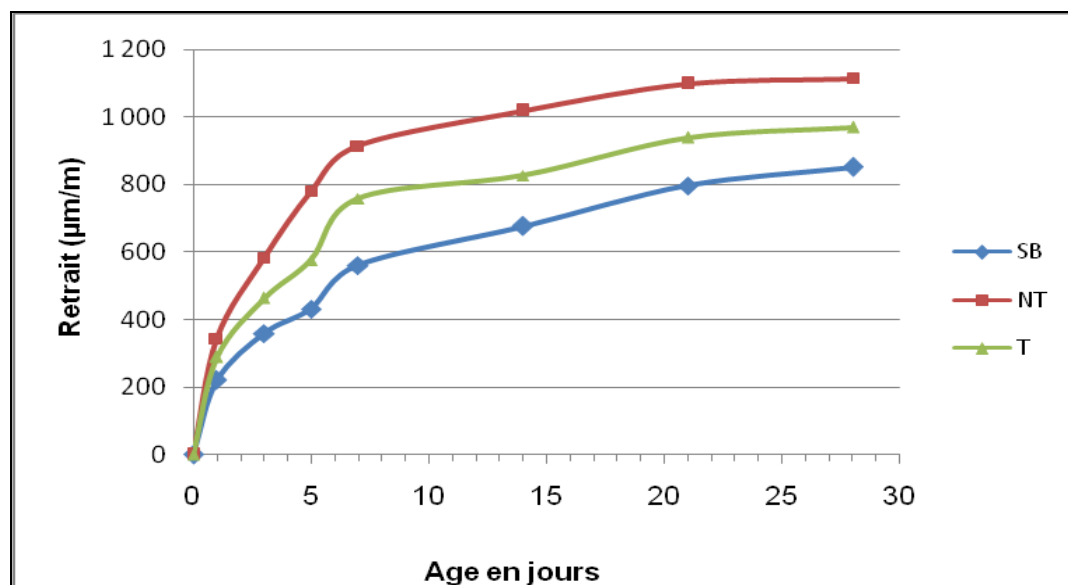
La finesse des granulats du béton de sable rend celui-ci sujet à d'importantes déformations de retrait, étant donné qu'il exigera une plus grande quantité d'eau de gâchage pour une certaine maniabilité. De surcroît, ce matériau est à être utilisé dans les régions sahariennes connues par leurs sévères conditions climatiques (climat chaud et sec); d'où l'importance d'étudier ce phénomène. Dans le cas des bétons de sable dunaire, les problèmes de retrait sont encore plus à craindre, du fait que ces bétons, eux aussi, demandent une eau supplémentaire pendant la fabrication et exigent un dosage élevé en ciment.

Les mesures de retrait sont prises sur des éprouvettes conservées à l'air libre à l'intérieur du laboratoire.

Les résultats enregistrés dans le temps sont présentés, pour le béton de sable dunaire, dans le tableau III.6 et sur la figure III.9.

**Tableau III.5:** Evolution du retrait ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) en fonction du temps pour les différentes compositions étudiées du béton de sable dunaire

L'Age (jours)	BSD Retrait ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )		
	SB	NT	T
0	0	0	0
1	220,57	343,50	288,04
3	359,25	583,86	463,56
5	432,01	780,27	576,10
7	561,60	914,25	759,29
14	676,10	1 018,02	827,39
21	796,20	1 098,73	938,87
28	852,30	1 114,67	969,79

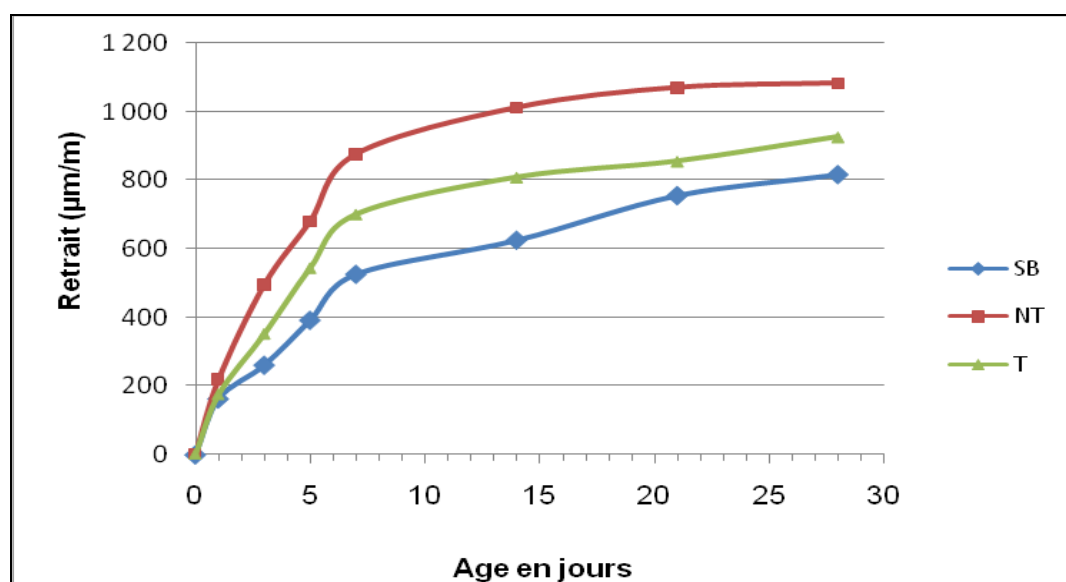


**Figure III.9:** Variation du retrait en fonction du temps pour les différentes compositions étudiées du béton de sable dunaire (BSD)

De même, les résultats en fonction du temps enregistrés dans le cas du béton de sable alluvionnaire sont présentés dans le tableau III.7 et sur la figure III.10.

**Tableau III.6:** Evolution du retrait ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) en fonction du temps les différentes compositions étudiées du béton de sable alluvionnaire

L'Age (jours)	BSA Retrait ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )		
	SB	NT	T
0	0	0	0
1	162,98	218,21	174,57
3	261,28	495,00	351,40
5	392,01	679,50	543,60
7	525,95	875,60	700,48
14	625,10	1 011,00	808,80
21	755,20	1 069,56	855,65
28	816,18	1 082,29	926,58



**Figure III.10:** Variation du retrait en fonction du temps pour les différentes compositions étudiées du béton de sable alluvionnaire (BSA)

L'hydratation et les échanges d'eau avec l'atmosphère provoquent sur les bétons et les mortiers, indépendamment de toute sollicitation mécanique externe, des déformations de retrait. Pour chaque composition, deux phases distinctes apparaissent dans le développement de ces déformations : une cinétique relativement élevée pendant les premiers 14 jours, pour les deux types de bétons de sable (alluvionnaire et dunaire), puis, une cinétique moins forte qui tend légèrement à se stabiliser au delà du 28 jours.

Dans le cas du sable de dune, la progression des déformations paraît continue dans le temps.

Cette constatation est aussi faite par d'autres chercheurs [BOUHAMOU.N, 2004].

La consommation de l'eau par l'hydratation, principal facteur de retrait, dépend de la taille des pores et du degré d'interconnexion du réseau poreux. Ainsi nous pensons que dans les bétons avec sables dunaires, les pores sont plus nombreux. Dans ce cas, l'eau libre va facilement s'évaporer laissant derrière elle des vides supplémentaires, ce qui engendre des déformations de retrait.

Le retrait dépend aussi de la teneur des éléments fins, c'est le cas des sables de dunes, ce qui joue favorablement vis-à-vis du retrait. Par contre pour les bétons à base de sables alluvionnaire où le pourcentage des éléments fins est modéré, le retrait diminue donc les fissures sont moins présentes. Plus le diamètre maximal des granulats est élevé et moins il y a de retrait.

Le béton de sable dunaire, présente, en général, un retrait relativement plus grand. En pratique, cette augmentation du retrait du béton de sable dunaire est due à l'évaporation d'eau, ce qui rend ce béton sujet à des déformations importantes.

Le retrait le plus faible est obtenu pour le béton de sable alluvionnaire. Cette réduction du retrait pour ce béton est due à l'emploi de sable grossier, ce qui veut dire une granulométrie sans trop d'éléments fins, donc une compacité du squelette élevée d'ou le retrait sera réduit. Un taux de réduction de la valeur de retrait à 28 jours de l'ordre de 4,5% pour le BSA par rapport au BSD a été enregistré.

Au début, le retrait évolue rapidement, mais, au delà du dixième jour, il commence à évoluer lentement avec une tendance à la stabilisation au delà de deux semaines. Il paraît que le retrait est aussi proportionnel à la proportion de copeaux de bois. Pour les deux bétons de sable, il augmente avec l'ajout de bois. Notons que le béton de sable, lui-même, est caractérisé par un retrait plus élevé que celui d'un béton ordinaire [BENAISSA.A, 1992] et que l'ajout de bois l'augmente davantage. Ceci constitue un inconvénient pour ces matériaux, ce qui rend, peut être, nécessaire le traitement des copeaux de bois [LEDHEM A., 1997]. En comparant les résultats obtenus aux valeurs limites préconisées pour les bétons de bois (**tableau I. 4**(Chap. I) [PIMIANTA P. et al 1994], nous constatons qu'ils sont nettement inférieurs, pour la teneur de bois envisagées.

En ce qui concerne la résolution de ce problème de variations dimensionnelles, problème souvent soulevé par les auteurs lors des études menées sur les bétons de bois [BOUGUERRA A.; LEDHEM A.1997], les **tableaux III.6** et **III.7** et les **figure III.9** et **III.10** mettent bien en évidence l'efficacité du traitement au ciment sur la réduction des variations dimensionnelles

des bétons de sable à base de copeaux de bois. Avec une teneur en bois de  $40 \text{ kg/m}^3$ , une amélioration considérable rendant le retrait des deux bétons de sable acceptable ( $<1000 \mu\text{m/m}$ ) a été enregistrée.

Notons, qu'un traitement à l'huile est beaucoup plus efficace que le traitement au ciment (Goteicha M.2005). Peut être que le retrait aurait diminué un peu plus si les copeaux de bois ont été traités à l'huile avant d'être enrobé au ciment.

Pour y remédier aux effets du retrait et limiter ses valeurs, plusieurs dispositions peuvent être prises, telles que :

- la diminution de l'eau de gâchage,
- La réduction du dosage en ciment (tout en le gardant compatible avec la résistance désirée),
- l'emploi des granulats à granulométrie rationnelle, sans trop d'éléments fins,
- le traitement des granulats de bois avant leur utilisation,
- et surtout la conservation des échantillons dans un milieu étanche (humide).

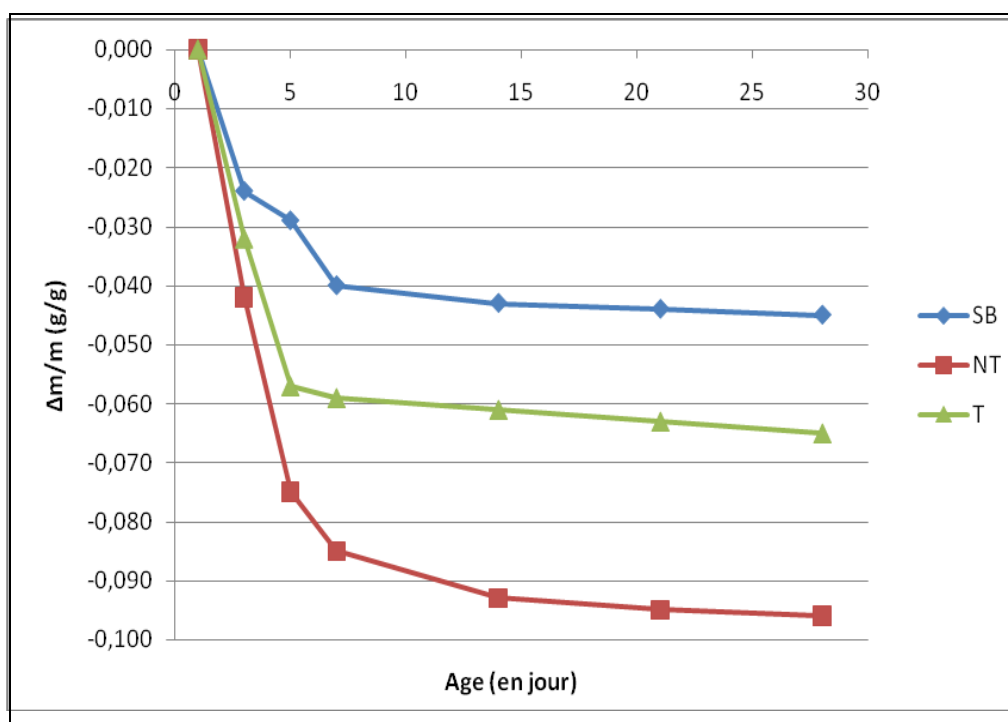
#### **III.4.2. PERTES EN POIDS**

Les déformations de retrait sont causées essentiellement par les variations hydriques induisant le développement des autocontraintes. En effet, lors des échanges d'eau, les variations de masse dépendent en particulier de l'état du réseau poreux de la pâte.

Les mêmes éprouvettes servant aux essais de mesures des déformations de retrait ont été pesées aux mêmes échéances, ce qui a donné les valeurs de pertes en poids regroupés dans tableau III.8 et illustrées par la figure III.11.

**Tableau III.7:** Pertes en poids en fonction du temps du béton de sable dunaire sans et avec copeaux de bois traités et non traités

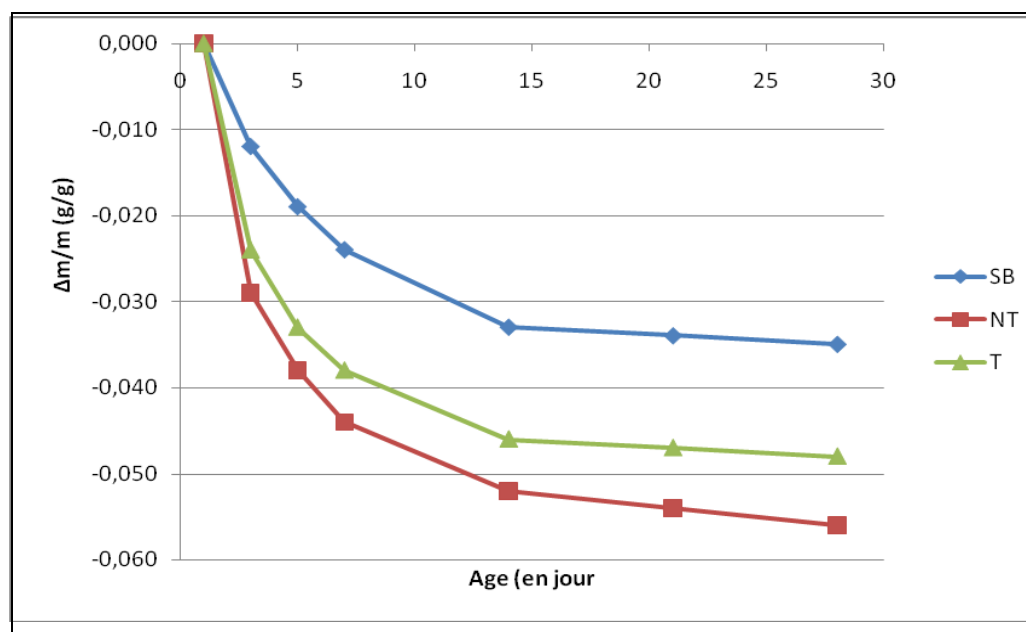
L'Age (jours)	BSD $\Delta m/m$ (g/g)		
	SB	NT	T
1	0,000	0,000	0,000
3	-0,024	-0,042	-0,032
5	-0,029	-0,075	-0,057
7	-0,040	-0,085	-0,059
14	-0,043	-0,093	-0,061
21	-0,044	-0,095	-0,063
28	-0,045	-0,096	-0,065



**Figure III.11:** Evolution de la Perte en poids dans le temps des bétons de sable dunaire

**Tableau III.8:** Pertes en poids en fonction du temps du béton de sable alluvionnaire sans et avec de copeaux de bois traités et non traités

L'Age (jours)	BSA $\Delta m/m$ (g/g)		
	SB	NT	T
1	0,000	0,000	0,000
3	-0,012	-0,029	-0,024
5	-0,019	-0,038	-0,033
7	-0,024	-0,044	-0,038
14	-0,033	-0,052	-0,046
21	-0,034	-0,054	-0,047
28	-0,035	-0,056	-0,048



**Figure III.12:** Evolution de la Perte en poids dans le temps des bétons de sable alluvionnaire

Les pertes en poids constatées pendant le durcissement correspondent à l'évaporation de l'eau libre par suite de la différence d'hygrométrie avec l'ambiance extérieure. Nous distinguons deux étapes différentes pendant l'évolution des variations de masse : pour tous les bétons, la cinétique est accélérée jusqu'à un mois, au-delà de cet âge, elle est stabilisée. Durant la première étape, la consommation de l'eau due à l'hydratation des silicates de calcium est intense et conduit à un assèchement interne, donc moins d'eau évaporable pendant la deuxième étape. Ce sont des résultats comparables à ceux d'autres études [BOUHAMOU, N, 2004]

Les bétons de sables de dunes présentent des pertes en masses plus faibles que celles des bétons sable alluvionnaire. D'après ces résultats, nous constatons également que :

- L'allure des courbes semble être identique ;
- La masse du composite béton de sable - bois diminue en présence des copeaux de bois. Ce phénomène est probablement dû au fait que, lors du séchage, l'eau absorbée par les copeaux induit dans la matrice une porosité d'autant plus importante. On remarque aussi que cette diminution est plus rapide au jeune âge, mais après, elle commence à ralentir.
- La diminution de la masse des bétons de bois peut s'allonger à plus d'un mois. Ceci est dû au fait que les granulats de bois se comportent comme un matériau hydrophobe, la quantité d'eau absorbée par ceux-ci est très importante d'où leur séchage dure plus longtemps.

#### IV. CONCLUSION

Les résultats présentés dans ce chapitre montrent bien l'avantage et l'intérêt des matériaux étudiés dans le domaine du génie civil. Ils peuvent trouver leur utilisation comme béton de structure ou béton de remplissage. Ce qu'il faut noter encore, est que l'allègement du béton de sable par ajout de copeaux de bois non traités est accompagné par une perte de résistance mécanique, mais un compromis résistance-allègement reste toujours possible.

Le seul défaut que présentent ces matériaux est leur retrait important. Ce dernier augmente davantage avec l'ajout de copeaux de bois. Cela est dû à la particularité des granulats légers utilisés qui se caractérisent par un taux d'absorption d'eau important à cause de leur structure très poreuse d'une part et à la finesse des granulats utilisés d'autre part.

Ce qu'il faut noter enfin, est que le problème de retrait est considérablement amélioré par le traitement des copeaux de bois avant leur utilisation. A titre d'exemple, et pour des dosages en copeaux de bois de  $40 \text{ kg/m}^3$ , les retraits diminuent de  $1114,67 \text{ } \mu\text{m/m}$  à  $969,79 \text{ } \mu\text{m/m}$  dans le cas du béton de sable dunaire et de  $1082,29 \text{ } \mu\text{m/m}$  à  $926,58 \text{ } \mu\text{m/m}$  dans le cas du béton de sable alluvionnaire, soient en pourcentages 13% et 14%.

De même, les résistances mécaniques du composite sont fortement améliorées avec ce type de traitement. Cette amélioration peut être expliquée par le fait que la microstructure de la matrice est devenue plus compacte et donc plus résistante et à la compatibilité du liant de traitement avec le liant de la matrice (même ciment). Avec le traitement des copeaux de bois, il est possible donc d'obtenir des résistances mécaniques d'un béton léger acceptables, en compression et en flexion.

# Chapitre IV: Etude de la durabilité dans différents milieux agressifs

---

## IV.1 INTRODUCTION

Aujourd'hui, la durabilité des structures en béton, est l'un des facteurs importants dans le domaine du génie civil et du génie industriel. Elle est influencée, non seulement par les chargements mécaniques, mais aussi par l'environnement. Ces influences deviennent plus importantes quand il s'agit de garantir une durée de service pendant une longue période, comme par exemple, les ponts, les tunnels, les réseaux d'assainissement ou le patrimoine bâti quand ils sont exposés à des agents agressifs. Les ouvrages en béton accueillant ces types de produits doivent avoir une durée de vie très longue qui doit être étudiée selon le niveau d'agressivité de ces produits. Est-ce le même cas pour nos matériaux?

C'est dans ce sens que nous avons pensé à étudier la durabilité des bétons de sable à base de copeaux de bois traités et non traités vis-à-vis de l'attaque de différents milieux agressifs.

En fait, il s'agit de comprendre leur tenue lorsqu'ils sont conservés 28 jours à l'aire libre suivis de plusieurs cycles d'immersion-séchage dans des milieux agressifs.

Dans cette étude les paramètres de quantification de la durabilité des bétons vis-à-vis les agressions chimiques sont :

- la résistance à la compression,
- la résistance à la flexion,
- les variations massiques,
- les variations dimensionnelles.

## **IV.2 DURABILITE VIS-A-VIS LES DIFFERENTS AGENTS AGRESSIFS**

Le comportement du béton placé dans un environnement chimiquement agressif dépend de facteurs complexes et multiples liés, d'une part à l'environnement, et d'autre part au matériau lui-même. En effet, la durabilité du béton peut être affectée non seulement par son environnement, mais aussi par les caractéristiques du matériau telles que la perméabilité, la teneur en ciment, la nature des hydrates formés lors de l'hydratation du ciment, etc.

L'étude de la durabilité des bétons vis-à-vis des milieux agressifs a été effectuée sur des bétons qui ont subis un durcissement à l'air libre durant 28 jours. Les mesures des différents paramètres quantifiant leur durabilité de nos matériaux sont prises à 46 j, 82j, 106 et 180 jours d'immersion dans des milieux agressifs. Les milieux agressifs considérés sont des solutions concentrées à 10% de  $MgSO_4$ , de Na Cl et de  $Ca(OH)_2$ .

Pour quantifier donc la durabilité des bétons vis-à-vis l'attaque aux environnements agressifs envisagés, nous avons déterminé les résistances à la compression, les résistances à la flexion, les variations massiques et les variations dimensionnelles en fonction de la durée d'exposition à ces milieux agressifs.

## **IV.3. PROPRIETES MECANIQUES**

### **IV.3.1. RESISTANCES A LA COMPRESSION**

La liaison entre la composition du béton et son comportement mécanique reste inhérente. Cette compatibilité sera maintenue à long terme seulement si les différents ingrédients rentrant dans la composition du béton sont de bonnes qualités, étudiés avec soin et avec des proportions convenables.

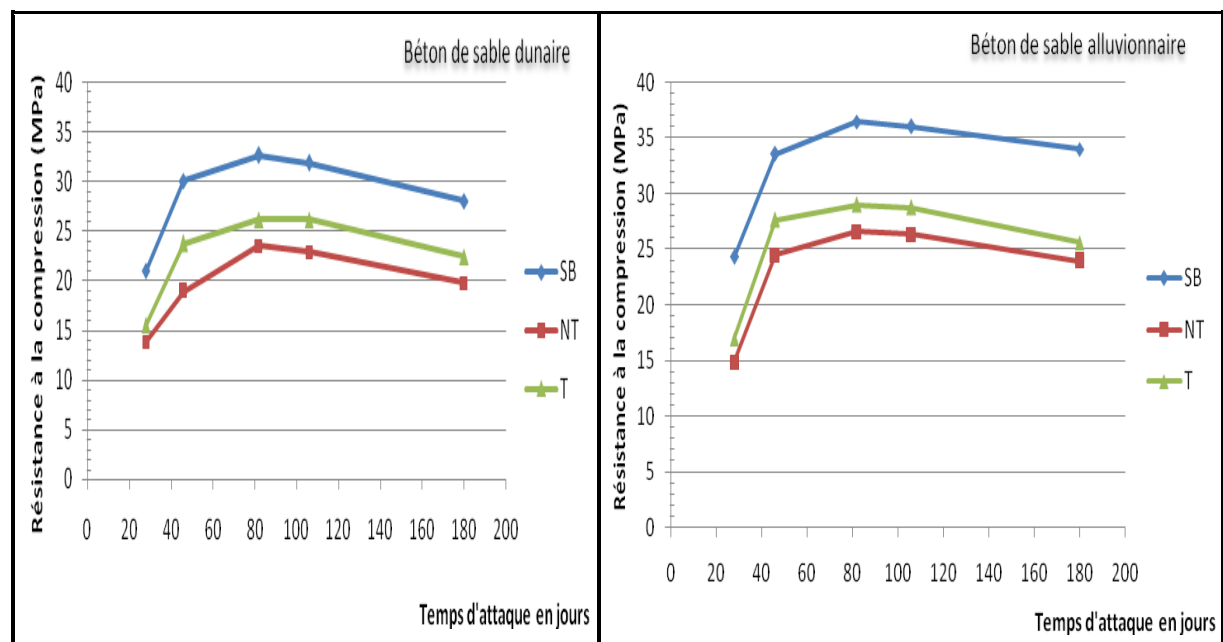
L'attaque chimique des bétons met en jeu la dissolution des hydrates, accompagnée ou non de la précipitation de nouveaux composés. Cette dissolution aura pour effet un accroissement de la porosité dans le béton qui aura pour conséquence une augmentation de la perméabilité du matériau. Dans cette partie d'étude, les effets des différents environnements sur les différents types des bétons étudiés (dunaire et alluvionnaire, avec copeaux traités et non traités) sont évalués à partir de la perte de la résistance des éprouvettes. Les essais de résistance à la compression sont effectués sur les demi-prismes d'éprouvettes conservées 28 jours à l'aire libre, puis soumises à treize cycles séchage-immersion dans le milieu agressif. Des mesures sont également prises après le troisième et le neuvième cycle.

Les résultats des résistances à la compression en fonction de temps d'immersion dans les milieux agressifs sont regroupés dans les tableaux IV.01, IV.02 et IV.03 et illustrés par les

figures IV.01, IV.02 et IV.03.

**Tableau IV.1:** Résultats de la résistance à la compression des éprouvettes exposées à la chaux

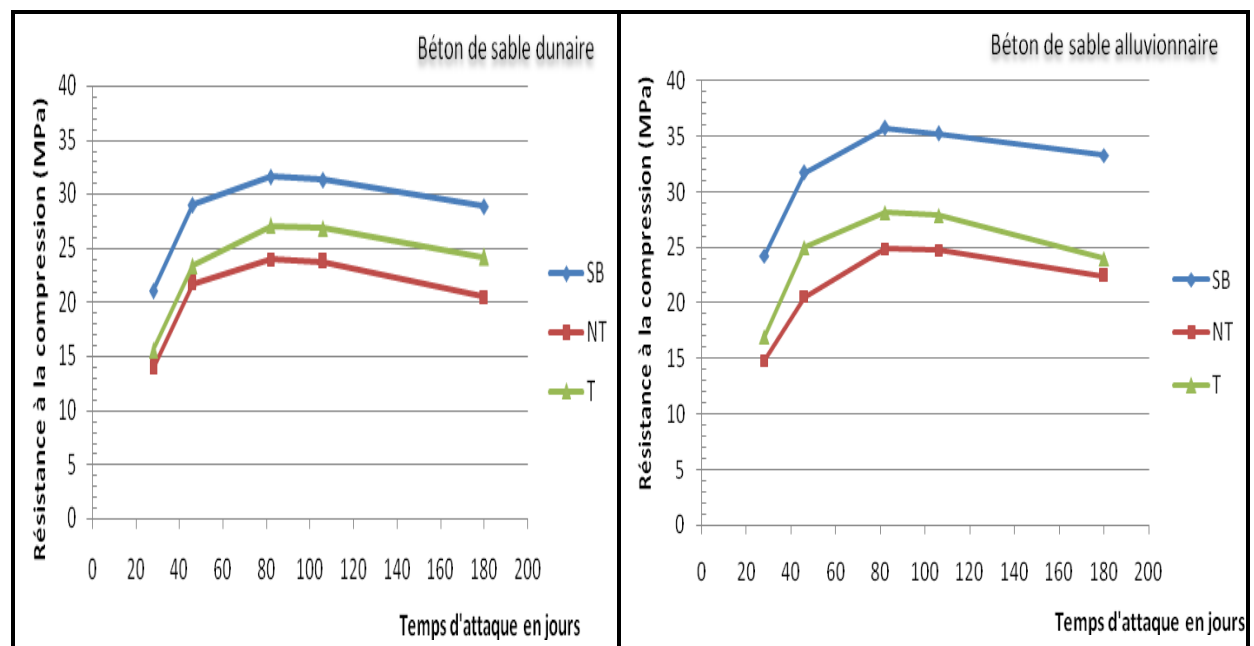
Age (en jour)	Béton de sable dunaire (MPa)			Béton de sable alluvionnaire (MPa)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	21,08	13,91	15,57	24,27	14,84	16,95
46	30,10	18,93	23,79	33,54	24,51	27,62
82	32,72	23,55	26,21	36,42	26,59	28,99
106	31,91	22,97	26,21	36,01	26,32	28,73
180	28,08	19,81	22,47	34,01	23,95	25,62



**Figure IV.01:** Evolution des résistances à la compression des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la *chaux*

**Tableau IV.02:** Résultats de la résistance à la compression des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium.

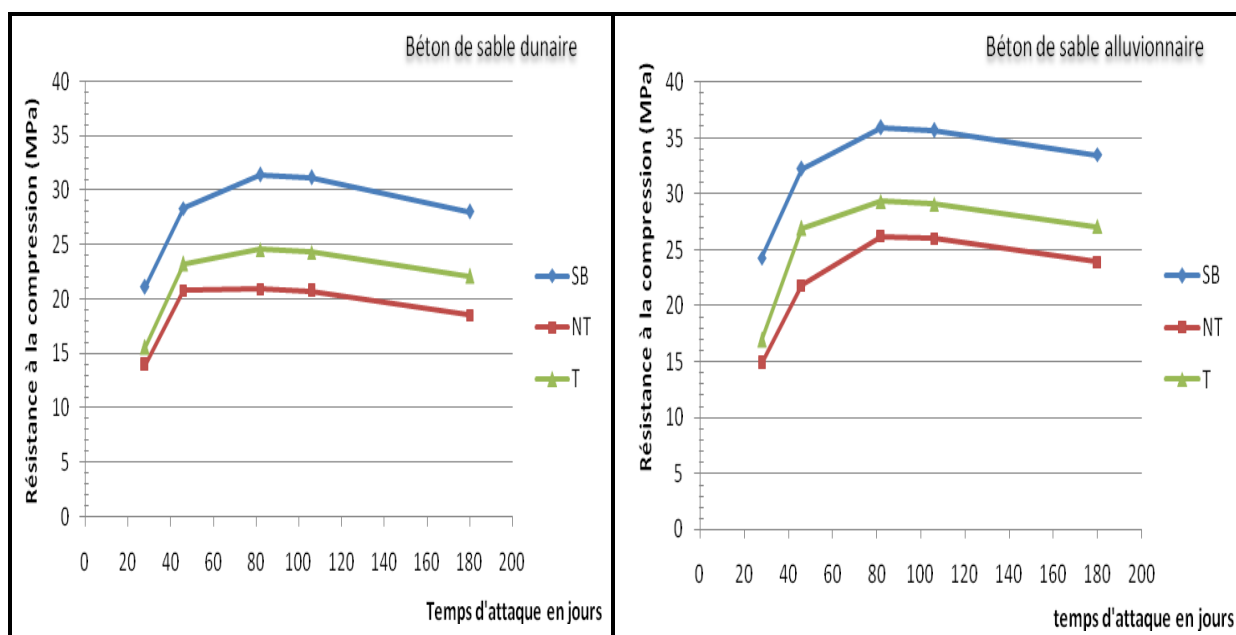
Age (en jour)	Béton de sable dunaire (MPa)			Béton de sable alluvionnaire (MPa)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	21,08	13,91	15,57	24,27	14,84	16,95
46	28,97	21,70	23,36	31,70	20,57	24,98
82	31,59	23,92	27,08	35,72	24,89	28,12
106	31,27	23,72	26,82	35,23	24,75	27,91
180	28,86	20,48	24,13	33,31	22,43	24,01



**Figure IV.02:** Evolution des résistances à la compression des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *sulfates de magnésium*

**Tableau IV.03:** Résultats de la résistance à la compression des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium.

Age (en jour)	Béton de sable dunaire (MPa)			Béton de sable alluvionnaire (MPa)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	21,08	13,91	15,57	24,27	14,84	16,95
46	28,34	20,77	23,23	32,26	21,83	26,94
82	31,38	20,91	24,57	35,94	26,21	29,32
106	31,16	20,72	24,31	35,71	26,00	29,09
180	28,01	18,53	22,11	33,51	23,94	27,09

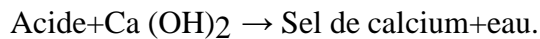


**Figure IV.03:** Evolution des résistances à la compression des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *chlorures de sodium*

Le comportement mécanique des bétons dans les milieux agressifs diffère d'un à autre. Cela est dû au mécanisme de dégradation qui est, bien sûr, à la nature du produit attaquant (sulfates, chlorures, etc.).

En général, les sulfates provoquent des dégradations internes dans le matériau et les chlorures de sodium, en contact avec la surface de l'éprouvette, permettent la pénétration d'ions de chlorure (les ions de chlorures attachés aux cations divalents pénètrent plus vite que ceux

attachés aux cations monovalents). Une réaction d'échange peut provoquer une modification des composés hydratés, principalement la portlandite.



D'après les résultats obtenus, on remarque une augmentation de la résistance à la compression jusqu'à l'âge de 82 jours, quelque soit le type de béton. C'est comme si la résistance à la compression n'est pas affectée par l'attaque des différents milieux agressifs.

A l'âge de 106 jours, on observe une diminution de la résistance pour tous les bétons, ce qui explique que l'augmentation observée au début n'est qu'un passage temporaire qui va mener à la dégradation. Ceci peut être expliqué par la pénétration des différents produits agressifs qui sont combinés avec les C-S-H pour donner l'ettringite qui est un produit expansif. L'expansion du matériau est suivie par des éclatements et par conséquent des microfissures qui conduisent à détérioration du matériau.

Les conséquences de l'attaque des trois agents agressifs étudiés sont multiples. On note en particulier:

- un affaiblissement des propriétés liantes par consommation des espèces liantes et par conséquent une chute des résistances mécaniques;
- la formation d'un hydrate sulfaté non liant et gonflant;
- une baisse du PH, provoquant l'attaque des armatures dans le cas des bétons armés; L'ettringite ainsi formée provoque un gonflement et conduit à une destruction du matériau pouvant aller jusqu'à la ruine de l'ouvrage.

Par ailleurs, on remarque que la résistance à la compression du béton de sable à base de copeaux de bois traités est relativement supérieure à celle du béton de sable à base de copeaux de bois non traités. Ceci est dû au fait qu'avec des copeaux de bois traités, les pores des grains de bois sont fermés à la surface par le traitement et isolés, ce qui constitue une barrière contre la diffusion des produits agressifs dans le matériau.

### **IV.3.2.RESISTANCES A LA FLEXION**

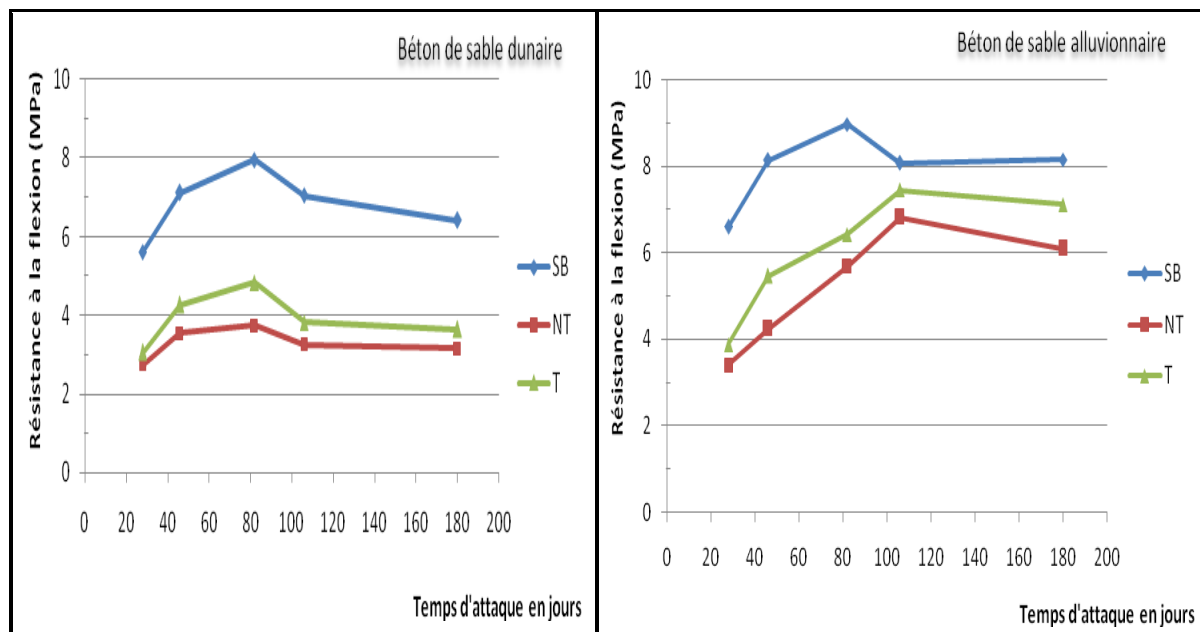
Comme pour la résistance à la compression, l'essai de flexion est conduit sur une série d'éprouvettes maintenues à l'air libre pendant 28 j, Les éprouvettes ensuite, sont immergées dans les milieux agressifs pendant 46, 82, 106 et 180 jours.

Les résultats de la résistance à la flexion des bétons en fonction de la durée d'immersion dans les différents milieux agressifs sont regroupés dans les tableaux IV.04, IV.05 et IV.06 et

illustrés par les figures IV.04, IV.05 et IV.06.

**Tableau IV.04:** Résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes exposées à la chaux

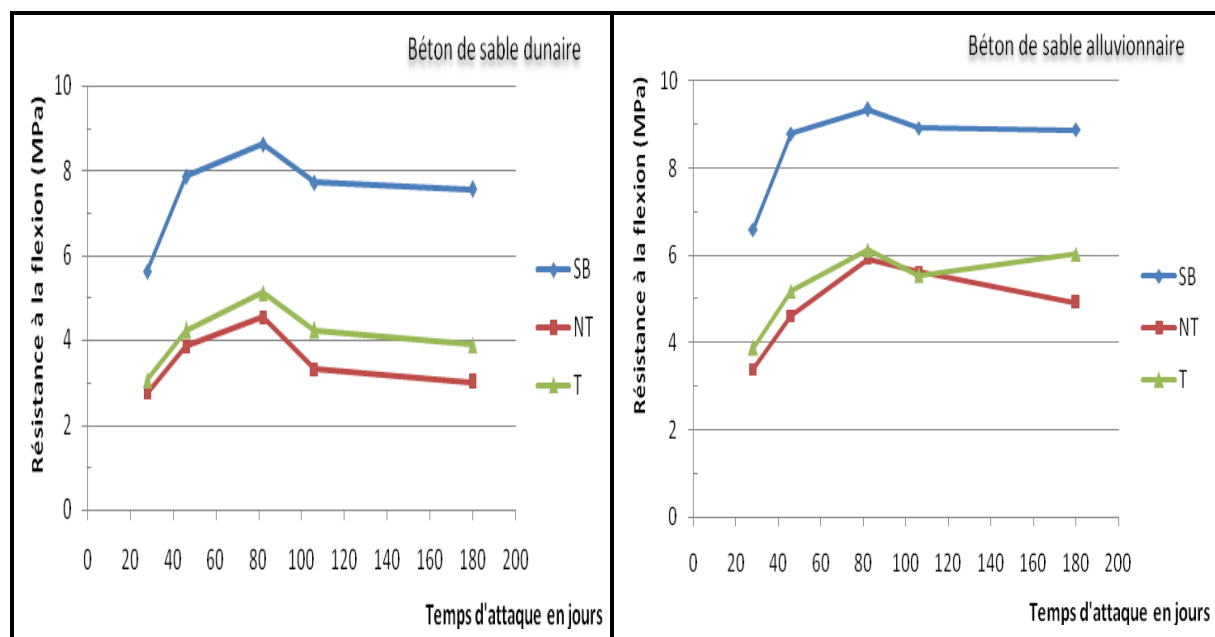
Age (en jour)	Béton de sable dunaire (MPa)			Béton de sable alluvionnaire (MPa)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	5,62	2,75	3,06	6,59	3,40	3,88
46	7,12	3,54	4,27	8,13	4,23	5,46
82	7,95	3,75	4,83	8,97	5,69	6,42
106	7,05	3,26	3,82	8,07	6,82	7,45
180	6,41	3,15	3,64	8,15	6,09	7,12



**Figure IV.04:** Evolution des résistances à la flexion des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la *chaux*

**Tableau IV.05:** Résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium.

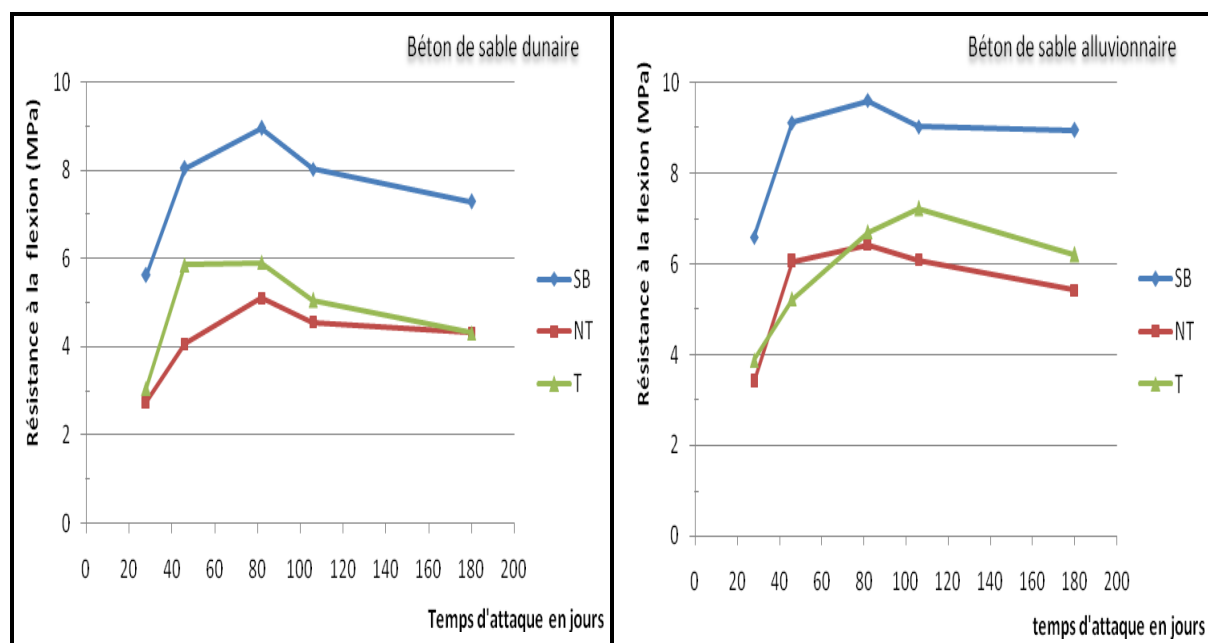
Age (en jour)	Béton de sable dunaire (MPa)			Béton de sable alluvionnaire (MPa)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	5,62	2,75	3,06	6,59	3,40	3,88
46	7,86	3,86	4,23	8,79	4,62	5,18
82	8,62	4,54	5,12	9,35	5,92	6,13
106	7,71	3,31	4,24	8,92	5,63	5,54
180	7,56	3,01	3,89	8,88	4,91	6,04



**Figure IV.05:** Evolution des résistances à la flexion des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *sulfates de magnésium*

**Tableau IV.06:** Résultats de la résistance à la flexion des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium

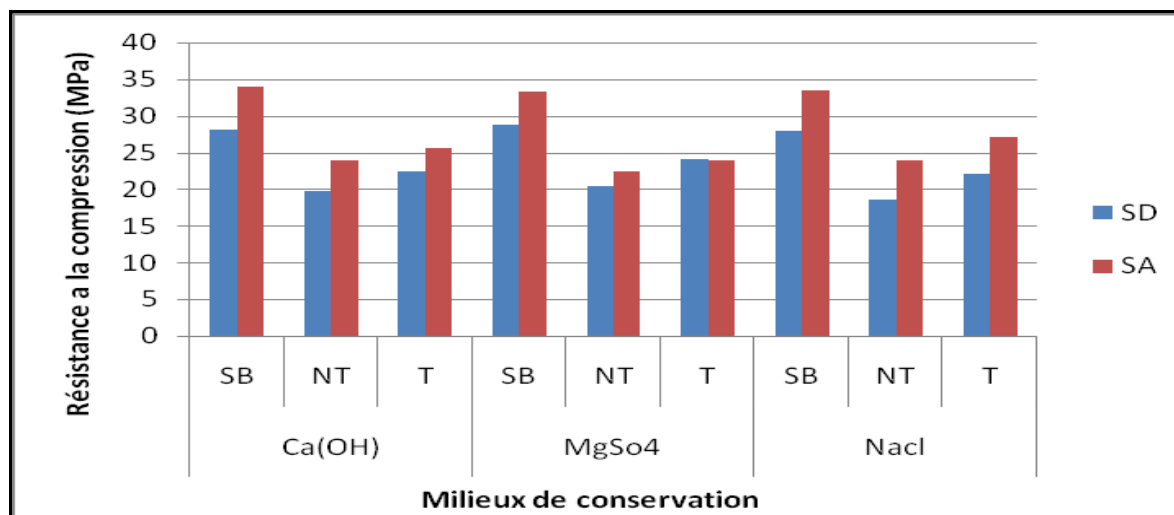
Age (en jour)	Béton de sable dunaire (MPa)			Béton de sable alluvionnaire (MPa)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	5,62	2,75	3,06	6,59	3,40	3,88
46	8,04	4,07	5,86	9,12	6,05	5,23
82	8,95	5,11	5,91	9,61	6,43	6,71
106	8,02	4,56	5,06	9,04	6,09	7,23
180	7,28	4,31	4,32	8,95	5,42	6,21

**Figure IV.06:** Evolution des résistances à la flexion des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *chlorures de sodium*

Les figures IV.04, IV.05 et IV.06 représentent la relation entre la résistance à la flexion et le temps d'attaque dans les milieux agressifs. Nous constatons, d'après les résultats obtenus, que la résistance à la flexion, pour tous les bétons, croît avec la durée d'exposition aux milieux agressifs jusqu'à l'âge de 82 jours. A l'âge de 106 jours, nous remarquons une diminution.

### IV.3.3 INFLUENCE DE TYPE DU SABLE

Afin d'apprécier l'influence du type du sable sur la résistance à la compression des différents bétons exposés aux milieux agressifs, on a essayé de faire une comparaison entre la résistance en compression à l'âge de 180 jours des bétons de sable alluvionnaire par rapport aux bétons de sable dunaire.



**Figure IV.07:** Comparaison entre les deux résistances à la compression des deux bétons de sable dans tous les cas de conservation

D'après la figure IV.07, on remarque que la résistance en compression enregistrée à l'âge de 180 jours pour le béton de sable alluvionnaire est plus élevée que celle du béton de sable dunaire dans tous ces cas (sans et à base de copeaux de bois, avant et après traitement).

Cette augmentation est de l'ordre de **11,39 %** pour des bétons sans bois conservés dans la chaux est de l'ordre de **20,31 %** pour des bétons de bois non traités conservés dans le chlorures de sodium ; et de l'ordre de **3,91 %** pour des bétons de bois traités dans les sulfates de magnésium.

La granularité du sable alluvionnaire a apporté un effet positif sur la résistance à la compression du béton immergé dans les différents milieux agressifs.

En comparant le béton de sable dunaire et le béton de sable alluvionnaire, nous pouvons faire le même constat qui a été fait pour la résistance à la compression.

## IV.4. PROPRIETES PHYSIQUES

### IV.4.1. VARIATION DU POIDS DES EPROUVETTES

Les résultats du gain en masse des bétons en fonction du temps d'immersion des éprouvettes ( $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ) aux différents milieux agressifs sont regroupés dans les tableaux IV.07, IV.08 et IV.09 et illustrés par les figures IV.08, IV.09 et IV.10.

#### IV.4.1.1. MILIEU A (EAU SATURÉE EN CHAUX)

Tableau IV.7. Résultats du gain en masse des éprouvettes exposées à la chaux

Age (en jour)	Béton de sable dunaire $\Delta m/m$ (g/g)			Béton de sable alluvionnaire $\Delta m/m$ (g/g)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
46	0,0255	0,0258	0,0243	0,0231	0,0265	0,0252
82	0,0287	0,0331	0,0311	0,0239	0,0280	0,0259
106	0,0215	0,0257	0,0233	0,0223	0,0258	0,0242
180	0,0209	0,0251	0,0227	0,0216	0,0250	0,0235

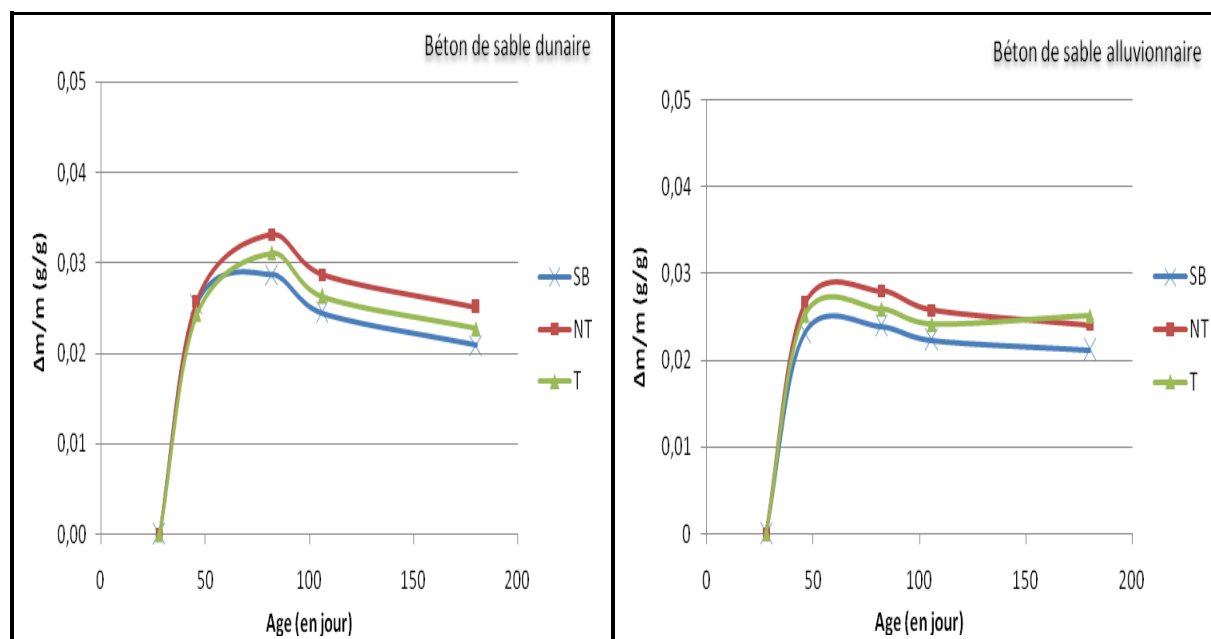


Figure IV.08: Evolution du gain en masse des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la *chaux*

D'après la figure IV.08, et concernant le milieu à la chaux ; il paraît que le béton de sable dunaire sans copeaux de bois (immérgé dans la chaux) a subi, entre le 28<sup>ème</sup> et le 82<sup>ème</sup> jour, un gain de masse atteignant un seuil d'environ 0,0287 (g/g), suivi d'une perte de masse arrivant aux environs de 0,0209 (g/g) au 180<sup>ème</sup> jour, et dans le béton de sable alluvionnaire sans copeaux de bois un gain de masse atteignant un seuil d'environ 0,0239 (g/g) suivi d'une perte de masse arrivant aux environs de 0,0212 (g/g) au 180<sup>ème</sup> jour.

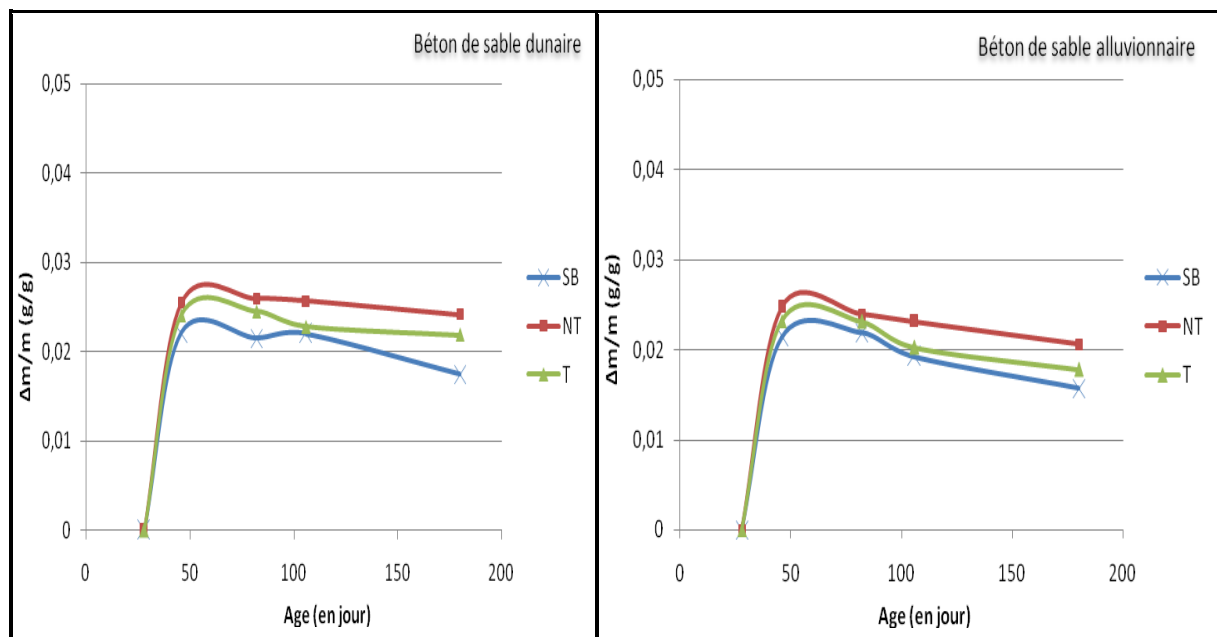
La figure IV.08 Correspondant au béton de sable à base de copeaux de bois non traités montre un gain de masse entre le 28<sup>ème</sup> et le 82<sup>ème</sup> jour supérieure. A partir du 82<sup>ème</sup> jour, on enregistre une perte de masse qui évolue d'une manière remarquable en atteignant au 180<sup>ème</sup> jour la valeur de 0,0251 (g/g) pour le BSD et de 0,0241 (g/g) pour le BSA et la même chose et les même remarques pour tous les bétons et tous les milieux de conservation.

Cela peut être expliqué par le fait que les vides à l'intérieur des éprouvettes sont remplis par l'eau capillaire qui peut faire circuler la solution à l'intérieur et augmente le pourcentage de perte en poids, engendrant ainsi une diminution de la résistance au 180<sup>ème</sup> jour.

#### IV.4.1.2. MILIEU B (SULFATE DE MAGNESIUM)

**Tableau IV.8:** Résultats du gain en masse des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium

Age (en jour)	Béton de sable dunaire			Béton de sable alluvionnaire		
	$\Delta m/m$ (g/g)			$\Delta m/m$ (g/g)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
<b>28</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>46</b>	0,0221	0,0255	0,0241	0,0214	0,0247	0,0232
<b>82</b>	0,0225	0,0260	0,0245	0,0219	0,0239	0,0231
<b>106</b>	0,0145	0,0277	0,0158	0,0221	0,0231	0,0227
<b>180</b>	0,0132	0,0262	0,0154	0,0238	0,0226	0,0198



**Figure IV.09:** Evolution du gain en masse des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *sulfates de magnésium*

Les résultats présentés dans la figure IV.09 indiquent une croissance dans le gain de masse pour tous les types de bétons, qui varient de 0,023 (g/g) à 0,028 (g/g).

Pour tous les milieux de conservation, la plus grande variation relative de la masse au 82<sup>ème</sup> jour a été enregistrée pour les bétons de sable à base de copeaux non traités, alors la plus petite a été enregistrée pour les bétons de sable sans bois.

Après cette période, on enregistre une chute dans tous les cas et de la même manière.

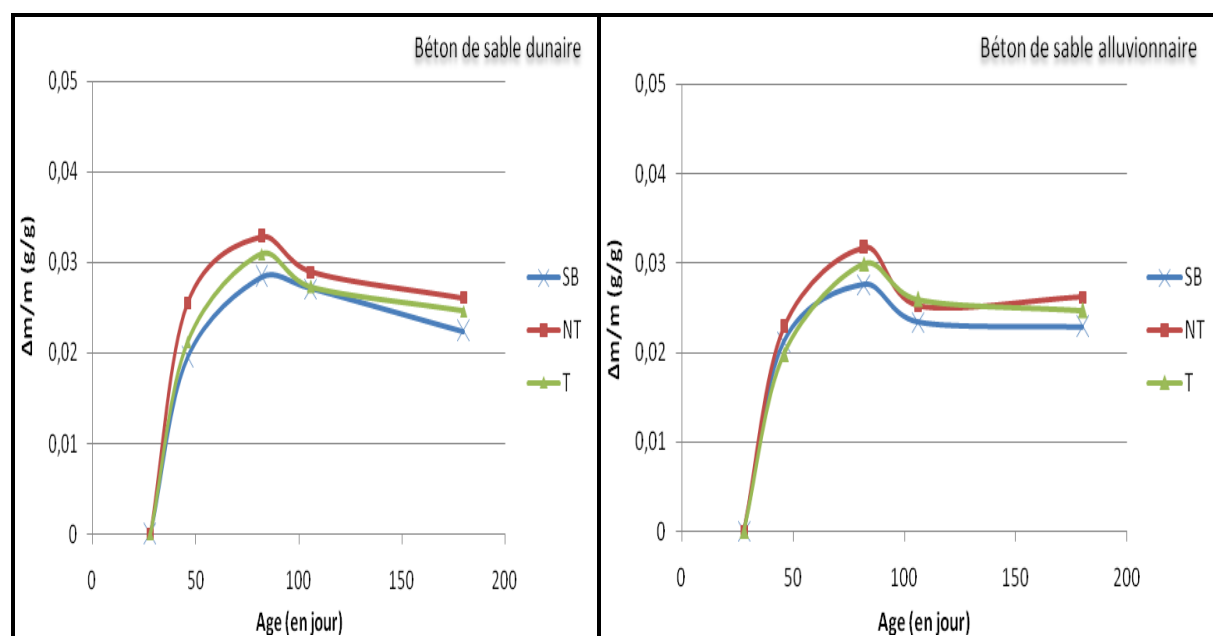
Ce qu'il faut noter, peut être, est que la cinétique de la chute dans cette période est élevée dans le cas des bétons de sable dunaire.

Il se peut que ceci est dû à la porosité plus élevée et plus connectée du sable de dune.

## IV.4.1.3. MILIEU C (CHLORURE DE SODIUM)

Tableau IV.9: Résultats du gain en masse des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium

Age (en jour)	Béton de sable dunaire			Béton de sable alluvionnaire		
	$\Delta m/m$ (g/g)			$\Delta m/m$ (g/g)		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
46	0,0195	0,0255	0,0212	0,0212	0,0228	0,0198
82	0,0284	0,0328	0,0309	0,0276	0,0317	0,0299
106	0,0241	0,0279	0,0263	0,0234	0,0252	0,0259
180	0,0234	0,0271	0,0256	0,0228	0,0262	0,0247

Figure IV.10: Evolution du gain en masse des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *chlorures de sodium*

Il convient de noter aussi que les faibles pertes en masses sont enregistrées dans le cas des chlorures de sodium, et ceci pour toutes les compositions.

Au début, l'effet des chlorures de sodium semble s'être manifesté par un gain de masse pour tous les bétons étudiés. Ce gain de masse tend à se stabiliser et prend la même allure d'évolution au-delà du 28<sup>ème</sup> jour (figure IV.10).

Un gain de masse remarquable a été enregistré pour tous les bétons entre le 28<sup>ème</sup> et le 82<sup>ème</sup> jour d'immersion. Puis une diminution de ce gain apparaît jusqu'au 120<sup>ème</sup> jour d'immersion. A partir du 106<sup>ème</sup> jour immersion on enregistre une perte de masse.

#### IV.4.2. VARIATIONS DIMENSIONNELLES DES EPROUVETTES

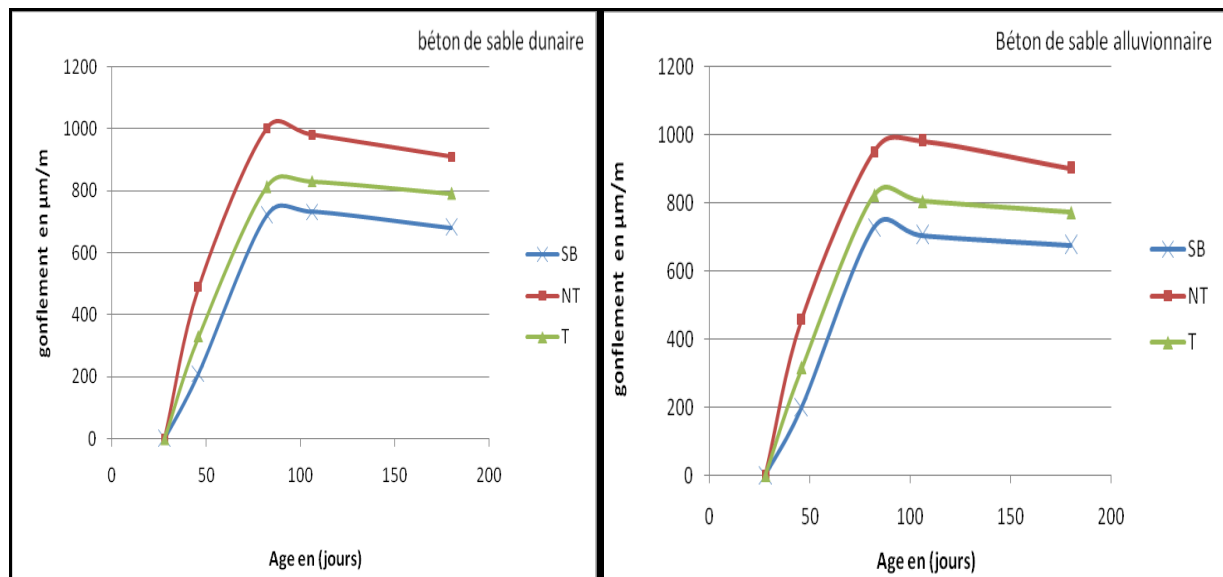
L'étude de l'évolution de la variation de longueur des mortiers et des bétons est un moyen nécessaire et d'une importance majeure qui permet de prévoir le comportement d'une structure dans des milieux à forte agressivité, car la durabilité d'une structure est compromise lorsque le matériau de construction de base a tendance à rétrécir au jeune âge.

Si la variation relative de dimension est très grande, la durabilité par conséquent est affectée et on doit établir de nouvelles formulations afin d'optimiser le comportement de la structure vis-à-vis de l'apparition de fissures à cause du retrait, qui par conséquent, facilite la pénétration des agents agressifs à travers ces fissures. Les valeurs du gonflement mesurées du 28<sup>ème</sup> au 180<sup>ème</sup> jour pour tous les bétons de sable étudiés sont regroupées dans les tableaux IV.10 à IV.12. Ces résultats sont représentés par les courbes présentées par les figures IV.11 à 13. Ces courbes permettent d'illustrer l'évolution du gonflement des différents bétons en fonction des temps d'immersion dans les différents milieux agressifs considérés.

##### IV.4.2.1. MILIEU A (EAU SATURÉE EN CHAUX)

**Tableau IV.10:** Résultats de la variation dimensionnelle des éprouvettes exposées à la chaux

Age (en jour)	Béton de sable dunaire			Béton de sable alluvionnaire		
	Gonflement en $\mu\text{m}/\text{m}$			Gonflement en $\mu\text{m}/\text{m}$		
	SB	NT	T	SB	NT	T
<b>28</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>46</b>	211,53	490,05	330,54	201,23	460,12	316,09
<b>82</b>	719,45	1 001,32	812,93	729,12	951,32	823,08
<b>106</b>	732,68	980,65	830,86	705,01	981,21	805,98
<b>180</b>	680,51	910,17	790,22	676,58	901,01	771,64

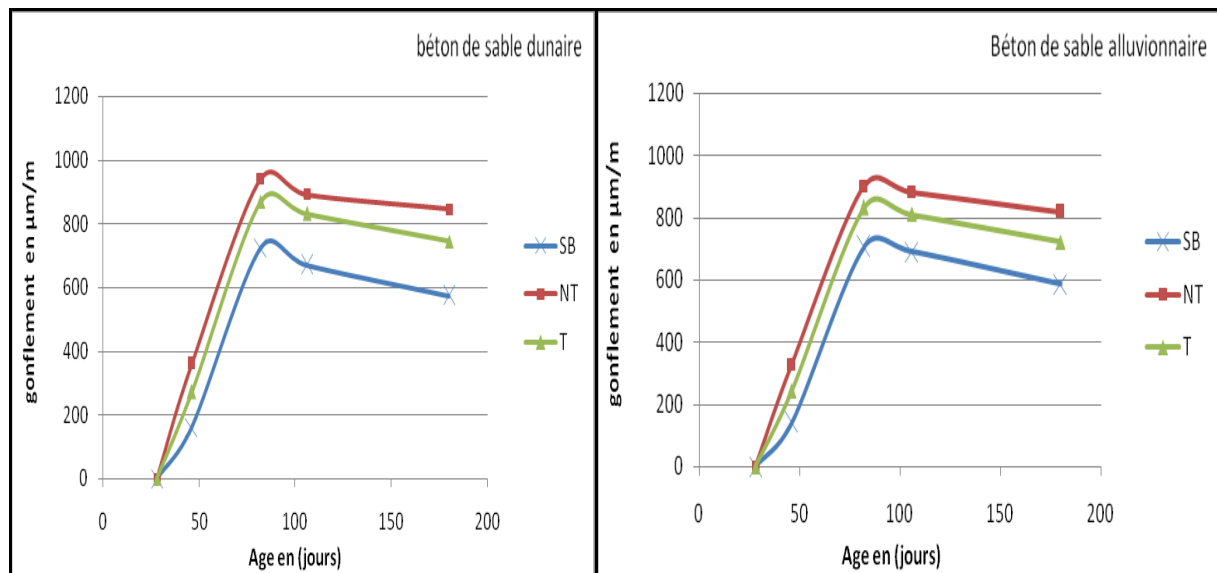


**Figure IV.11:** Evolution de la variation dimensionnelle des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans la *chaux*

#### IV.4.2.2. MILIEU B (SULFATE DE MAGNESIUM)

**Tableau IV.11 :** Résultats de la variation dimensionnelle des éprouvettes exposées aux Sulfates de magnésium

Age (en jour)	Béton de sable dunaire Gonflement en µm/m			Béton de sable alluvionnaire Gonflement en µm/m		
	SB	NT	T	SB	NT	T
28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
46	161,65	360,51	271,56	142,99	329,09	243,84
82	724,91	942,08	870,12	705,54	901,31	832,34
106	670,37	892,14	831,63	689,63	883,05	810,61
180	573,34	844,92	743,84	586,12	818,82	722,07

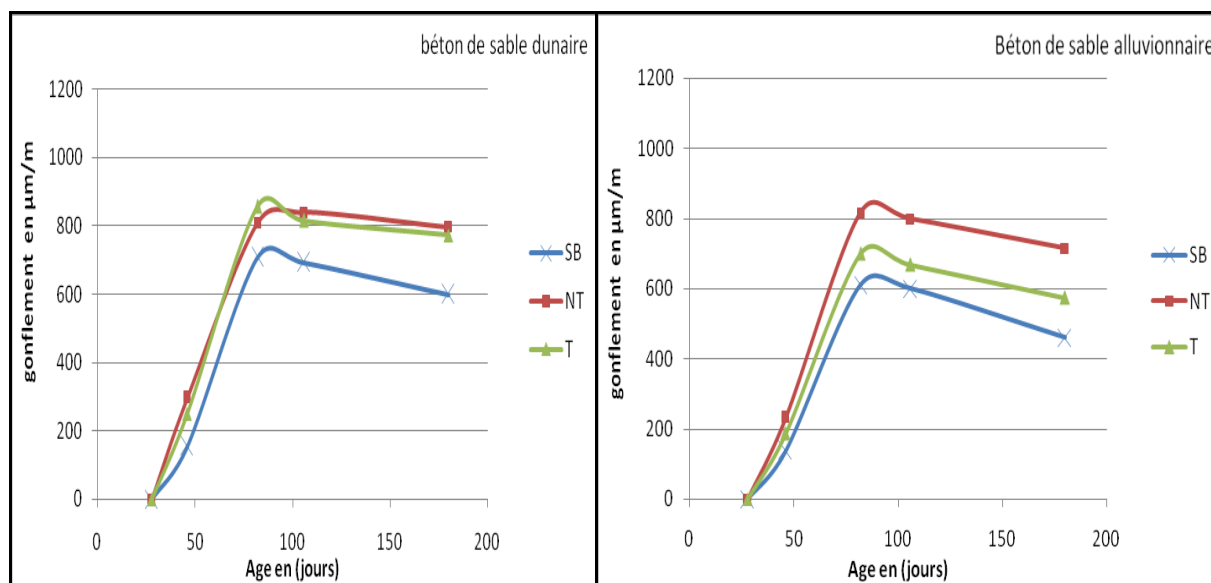


**Figure IV.12 :** Evolution de la variation dimensionnelle des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *sulfates de magnésium*

#### IV.4.2.3. MILIEU C (CHLORURE DE SODIUM)

**Tableau IV.12:** Résultats de la variation dimensionnelle des éprouvettes exposées au Chlorure de sodium

Age (en jour)	Béton de sable dunaire Gonflement en µm/m			Béton de sable alluvionnaire Gonflement en µm/m		
	SB	NT	T	SB	NT	T
<b>28</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
<b>46</b>	153,94	296,41	250,52	136,88	231,10	185,63
<b>82</b>	706,62	808,23	856,64	610,19	816,33	699,87
<b>106</b>	692,84	839,54	814,91	600,53	798,62	667,65
<b>180</b>	598,51	797,09	771,48	460,35	714,65	573,14



**Figure. IV.13:** Evolution de la variation dimensionnelle des deux bétons en fonction des temps d'immersion dans les *chlorures de sodium*

Les figures IV.11, IV.12 et IV.13 montrent que le gonflement des deux bétons augmente de plus en plus que le béton est léger, et cela est dû au gonflement propre des granulats causé par les différents milieux.

D'autre part, on voit que pour la présence des granulats de bois augmente le gonflement, mais leur traitement diminue légèrement ce phénomène.

Concernant l'évolution du gonflement au cours du temps, on remarque qu'elle est similaire pour l'ensemble des bétons confectionnés. Tous les bétons ont montré une augmentation du gonflement qui est expliquée par l'introduction de l'eau agressive dans les pores. Des microfissures superficielles se sont produites sur les éprouvettes.

Il faut signaler que ces microfissures sont visibles à l'œil nu après le lavage des éprouvettes. On peut même observer visuellement l'augmentation du volume des éprouvettes (gonflement) dans la période entre le 28<sup>ème</sup> et 82<sup>ème</sup> jour. Juste après cette période, on peut facilement remarquer une diminution progressive du volume.

Comme il apparaît sur les figures IV.11 à IV.13, le béton de sable à base de copeaux de bois non traités a montré, par rapport aux autres bétons, une grande tendance au gonflement (gonflement supérieur dans tous les milieux de conservation).

A partir du 82<sup>ème</sup> jour, le béton de sable sans bois a enregistré un seuil de gonflement variant de 610 à 750 µm/m selon le milieu de conservation. A ce même âge, les bétons de sable à base de bois (traités ou non), on atteint de à 1000 µm/m.

Ces constatations nous permettent de dire que le gonflement est influencé par l'ajout de copeaux de bois et par le traitement de ces copeaux étant donné que le béton à base des copeaux de bois non traité a donné des valeurs de gonflement supérieures à celles des autres bétons.

## **IV.5. COMPARAISON DES RESULTATS (ENTRE LE CAS DE COPEAUX DE BOIS TRAITES ET NON TRAITES)**

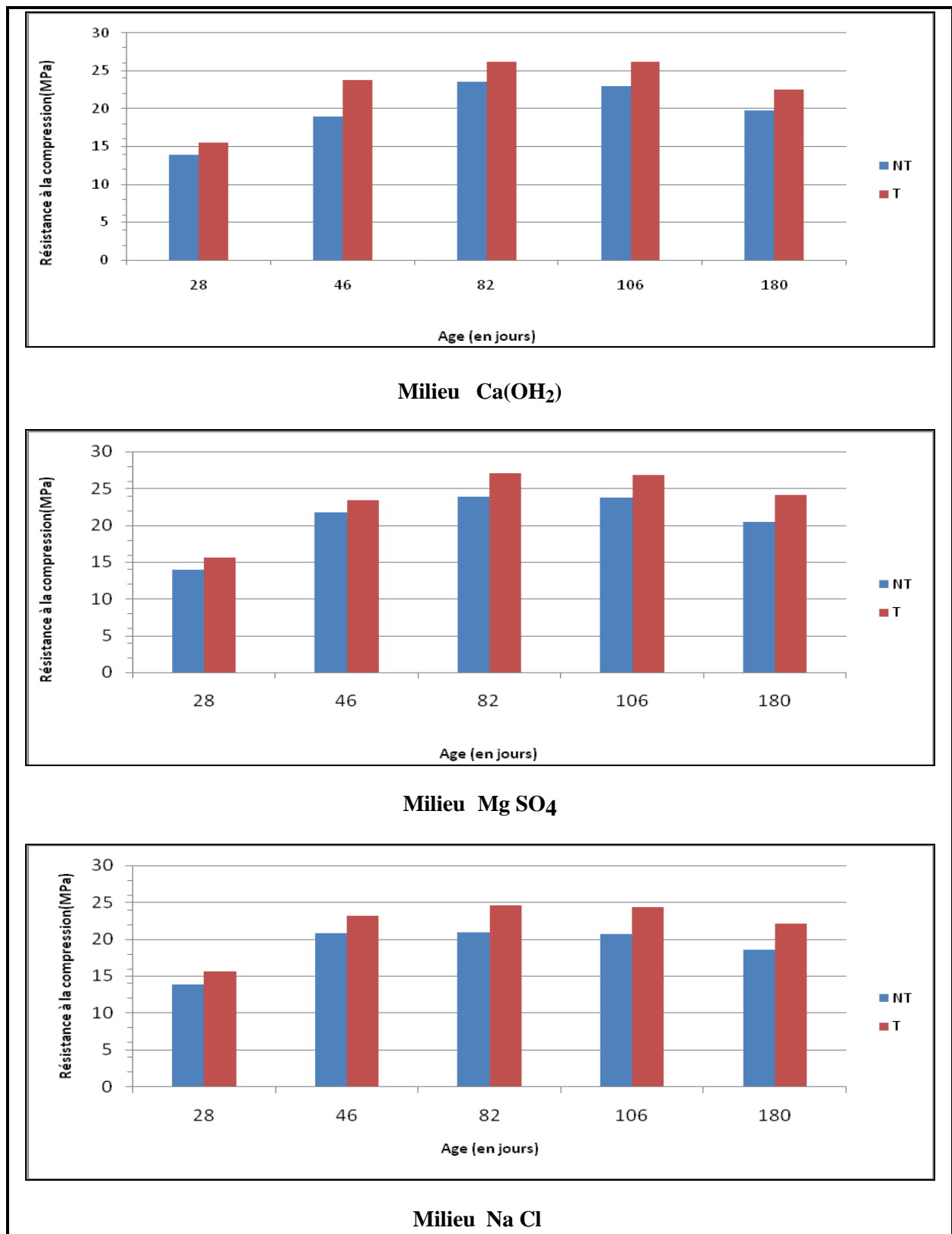
### **IV.5.1. INTRODUCTION**

Sur la base des résultats obtenus, une étude comparative entre les deux types des bétons élaborés a permis d'analyser l'influence du traitement du copeaux de bois et l'effets des différentes attaques chimiques sur leurs caractéristiques physico-mécaniques.

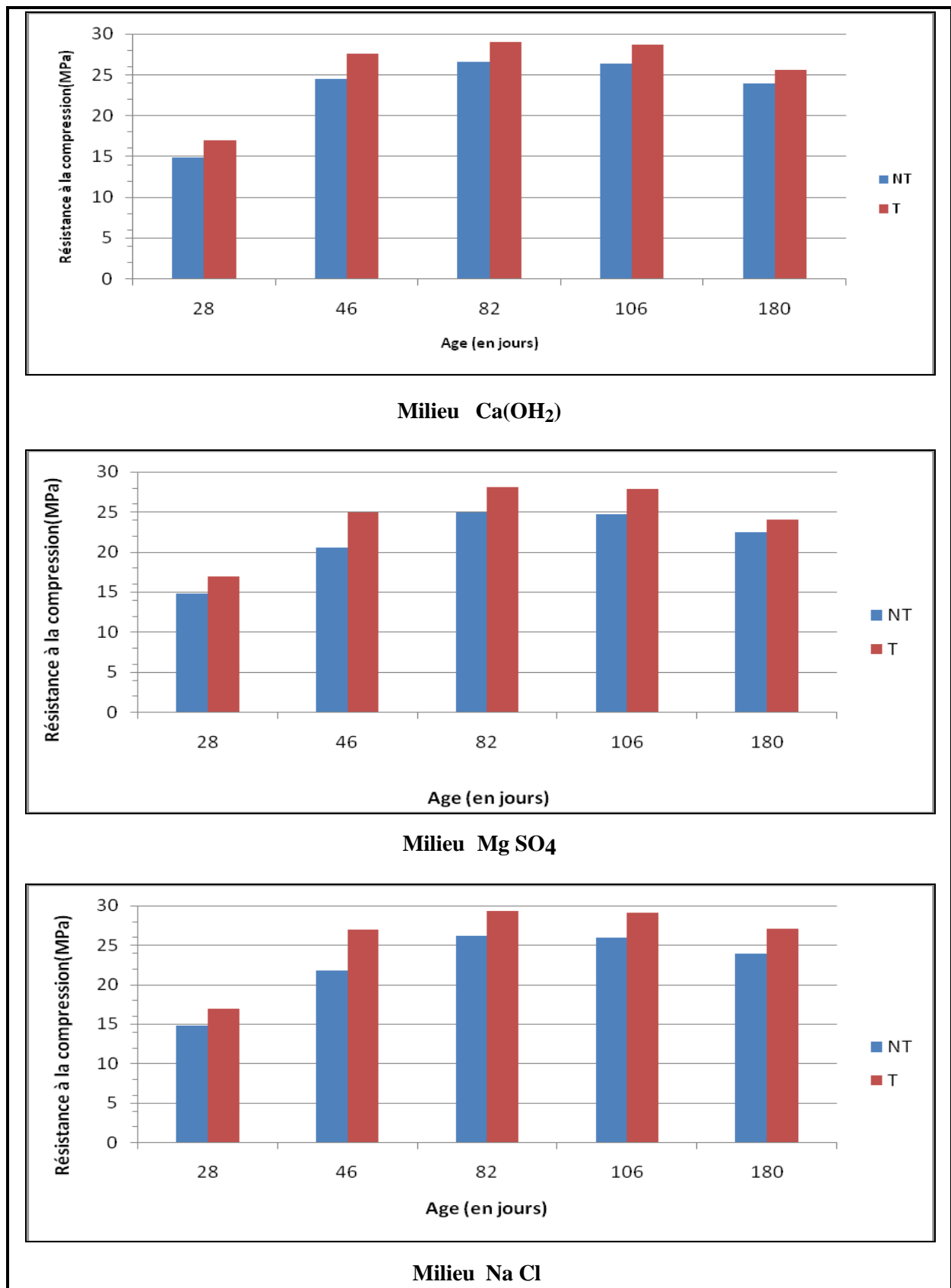
### **IV.5.2.COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES MECANIQUES**

#### **IV.5.2.1.RESISTANCE A LA COMPRESSION**

Les résultats de la résistance en compression des BSD et des BSA, pour les deux types de copeaux de bois, traités et non traités, et dans les différents milieux de conservation, sont représentés dans les figures IV.14 et IV.15 d'une manière permettant d'établir différentes comparaisons.



**Figure IV.14:** Histogrammes de comparaison des résistances en compression des BSD à base de copeaux de bois traités et non traités dans les différents milieux



**Figure IV.15:** Histogrammes de comparaison des résistances en compression des BSA à base de copeaux de bois traités et non traités dans les différents milieux

Pour les deux types de bétons de sable la résistance en compression augmente lorsque

l'âge d'immersion augmente jusqu'à 82 jours, puisque les granulats de bois absorbent une quantité d'eau importante, donc la cure dans l'eau améliore la résistance à la compression de la même manière que les bétons classiques.

- Pour un même âge et une même conservation, le béton de bois traité présente une résistance à la compression relativement élevée que celle du béton de bois non traité. En effet le bois non traité étant plus absorbant que le bois traité, ceci s'explique par la différence de morphologie structurale des granulats de bois traités et non traités.
- Les résistances moyennes maximales et minimales des BSD traité sont respectivement de 26,21 MPa et 22,47 MPa dans la chaux et de 27,08 MPa et 23,36 MPa dans sulfates de magnésium et de 24,57 MPa et 22,11 MPa dans chlorure de sodium.
- Les résistances moyennes maximales et minimales des BSD à base de copeaux de bois non traités sont respectivement de 23,55 MPa et 18,93 MPa dans la chaux et de 23,92 MPa et 20,48 MPa dans les sulfates de magnésium et de 20,91 MPa et 18,53 MPa dans les chlorure de sodium.

A partir de ces chiffres on voit bien la différence entre les différentes valeurs des résistances. Ca sera plus clair si on rassemble ces valeurs dans un tableau où l'on calcule encore le taux d'accroissement de la résistance des BS avec des copeaux de bois traité par rapport à celle des BS avec des copeaux de bois non traités (Tableau IV.13 et IV.14).

**Tableau IV.13:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en compression des deux BSD, à base de copeaux de bois traités et non traités.

<i>Matériaux</i>	<i>Résistances moyennes en compression (MPa)</i>				<i>Taux</i>	
	<i>BSD : traités</i>		<i>BSD :non traités</i>		<i>Max</i>	<i>Min</i>
<i>Valeur</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>		
Milieu Ca(OH <sub>2</sub> )	26,21	22,47	23,55	18,93	1,11	1,18
Milieu MgSO <sub>4</sub>	27,08	23,36	23,92	20,48	1,13	1,14
Milieu Na Cl	24,57	22,11	20,91	18,53	1,17	1,19

**Tableau IV.14:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en compression des deux BSA, à base de copeaux de bois traités et non traités.

<i>Matériaux</i>	<i>Résistances moyennes en compression (MPa)</i>				<i>taux</i>	
	<i>BSA traités</i>		<i>BSA non traités</i>			
	<i>Valeur</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>	<i>Max</i>
Milieu Ca(OH <sub>2</sub> )	28,99	25,62	26,59	23,95	1,09	1,08
Milieu MgSO <sub>4</sub>	28,12	24,01	24,89	22,43	1,12	1,07
Milieu Na Cl	29,32	26,44	26,21	23,94	1,11	1,10

- On voit bien que la résistance en compression du béton à base de copeaux de bois traités dépasse celle du béton à base de copeaux de bois non traités d'environ 1.11 fois, pour les deux types de bétons de sables, dunaire et alluvionnaire.

De ce fait, le béton à base de copeaux de bois traités sera plus bénéfique en matière de résistance en compression que le béton à base de copeaux de bois non traités.

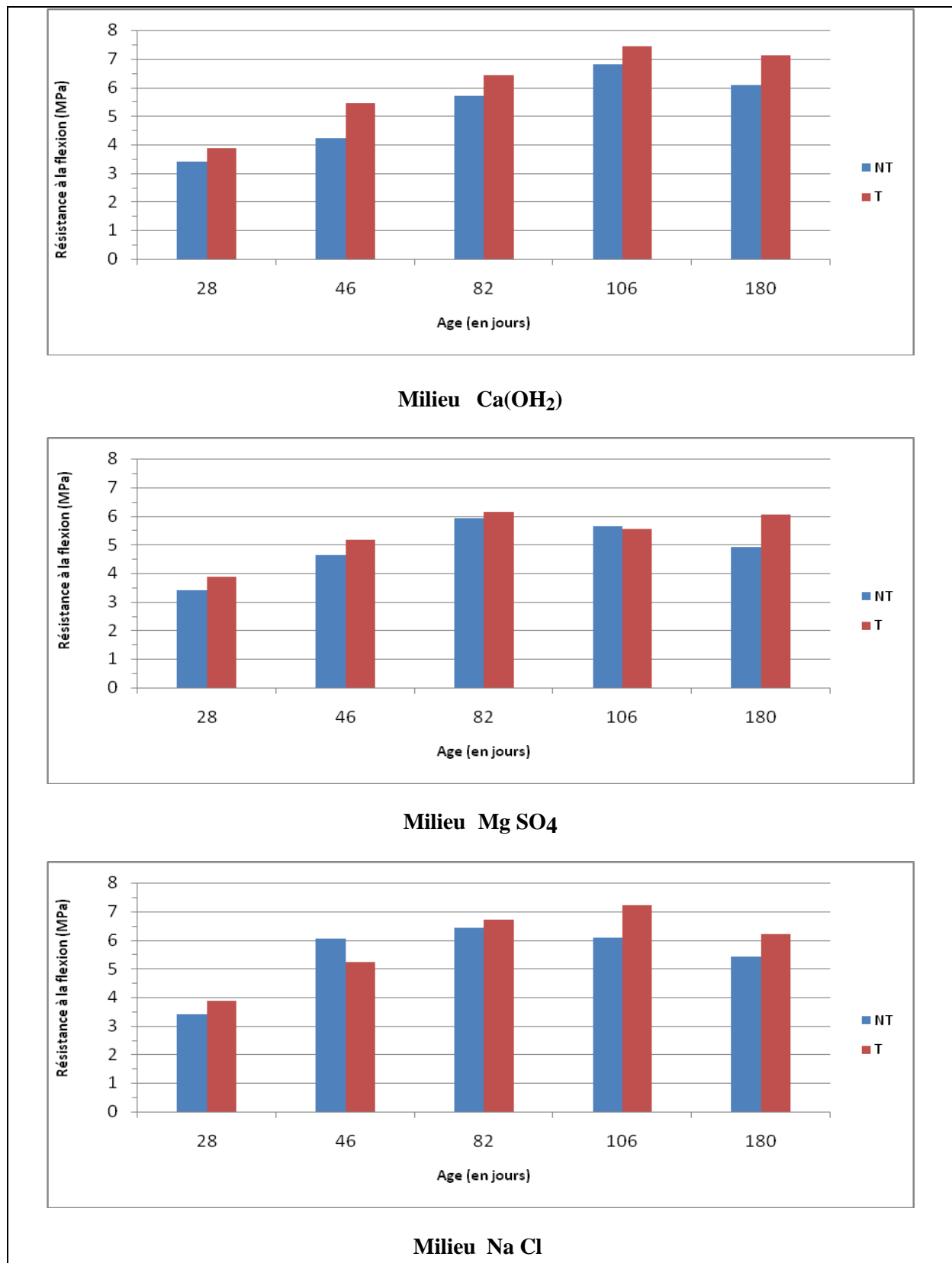
- L'utilisation de ciment comme traitement pour les copeaux de bois réduit l'absorption de l'eau et améliore, par conséquent, nettement les résistances dans les différents milieux de conservation.

Les figures IV.14 et IV.15 montrent que :

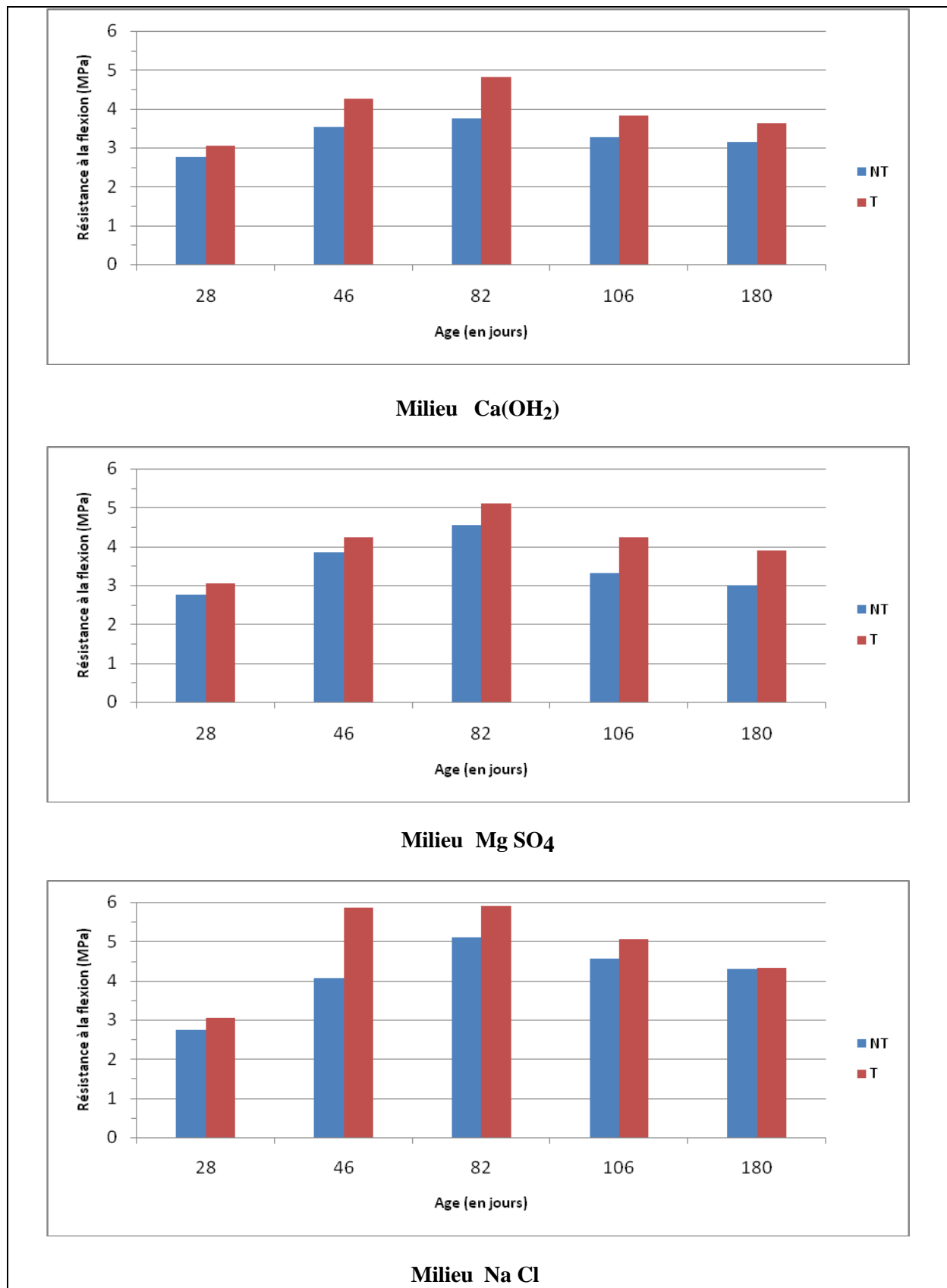
- En comparant l'effet du milieu de chlorure à celui des sulfates, on remarque que les sulfates sont plus nocives que les chlorures.
- Si on compare l'effet des milieux de chlorure, la chaux et le sulfate, on constate que le milieu acide est le plus agressif et le plus nocif.
- D'après les histogrammes, la chaux est le moins nocif.
- Concernant le type de sable, on a pu constater que le sable alluvionnaire résiste mieux aux milieux agressifs. Un grand intérêt doit donc être donné au sable alluvionnaire

#### **IV.5.2.2.RESISTANCE A LA FLEXION**

Les résultats de la résistance en flexion des BSD et des BSA sont représentés par les figures IV.16 et IV.17 pour les deux types de copeaux de bois (traités et non traités) et dans les différents types d'environnements (MgSO<sub>4</sub>, NaCl et Ca(OH<sub>2</sub>)).



**Figure IV.16:** Histogramme de comparaison des résistances en flexion des BSD à base de copeaux de bois traités et non traités dans les différents milieux



**Figure IV.17:** Histogramme de comparaison des résistances en flexion des BSA à base de copeaux de bois traités et non traités dans les différents milieux

- Le même phénomène que pour les résistances à la compression, les deux types de bétons

de sable la résistance en flexion augmente, pour les deux bétons de sable, lorsque l'âge d'immersion augmente jusqu'à 82 jours,

- Les résistances moyennes maximales et minimales des BSD à base de copeaux de bois traités sont respectivement de 4,83 MPa et 3,64 MPa dans la chaux et de 5,12 MPa et 3,89 MPa dans sulfates de magnésium et de 5,91 MPa et 4,32 MPa dans chlorure de sodium.
- Les résistances moyennes maximales et minimales des BSD non traité sont respectivement de 3,75 MPa et 3,15 MPa dans la chaux et de 4,54 MPa et 3,01 MPa dans sulfates de magnésium et de 5,11 MPa et 4,07 MPa dans chlorure de sodium.

Si on essaie de représenter ces résultats en termes de taux d'accroissement de la résistance à la flexion, ceci permettra d'établir une comparaison entre le cas de copeaux traités et le cas de copeaux non traités (Tableaux IV.15 et IV.16).

**Tableau IV.15:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en flexion du deux BSD traité et non traité.

<i>Matériaux</i>	<i>Résistances moyennes en flexion (MPa)</i>				<i>taux</i>	
	<i>BSD traités</i>		<i>BSD non traités</i>		<i>Max</i>	<i>Min</i>
<i>Valeur</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>		
Milieu Ca(OH <sub>2</sub> )	4,83	3,64	3,75	3,15	1,28	1,15
Milieu MgSO <sub>4</sub>	5,12	3,89	4,54	3,01	1,12	1,29
Milieu Na Cl	5,91	4,32	5,11	4,07	1,15	1,06

**Tableau IV.16:** Comparaison des valeurs moyennes des résistances en flexion du deux BSA traité et non traité.

<i>Matériaux</i>	<i>Résistances moyennes en flexion (MPa)</i>				<i>taux</i>	
	<i>BSA traités</i>		<i>BSA non traités</i>		<i>Max</i>	<i>Min</i>
<i>Valeur</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>	<i>Maximale</i>	<i>Minimale</i>		
Milieu Ca(OH <sub>2</sub> )	7,45	5,46	6,82	4,23	1,09	1,29
Milieu MgSO <sub>4</sub>	6,13	5,18	5,92	4,62	1,04	1,12
Milieu Na Cl	7,23	5,23	6,43	5,42	1,12	0,96

- Dans le cas de flexion on voit bien que la résistance en flexion du béton de bois traité dépasse celle du béton de bois non traité pour les deux types de bétons (BSD et BSA) d'environ 1.14 fois.

Le béton avec des copeaux de bois traités, donc, est plus bénéfique en matière de résistance en flexion que le béton avec des copeaux de bois non traités.

### **IV.5.3.COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES**

#### **IV.5.3.1. VARIATION DU POIDS**

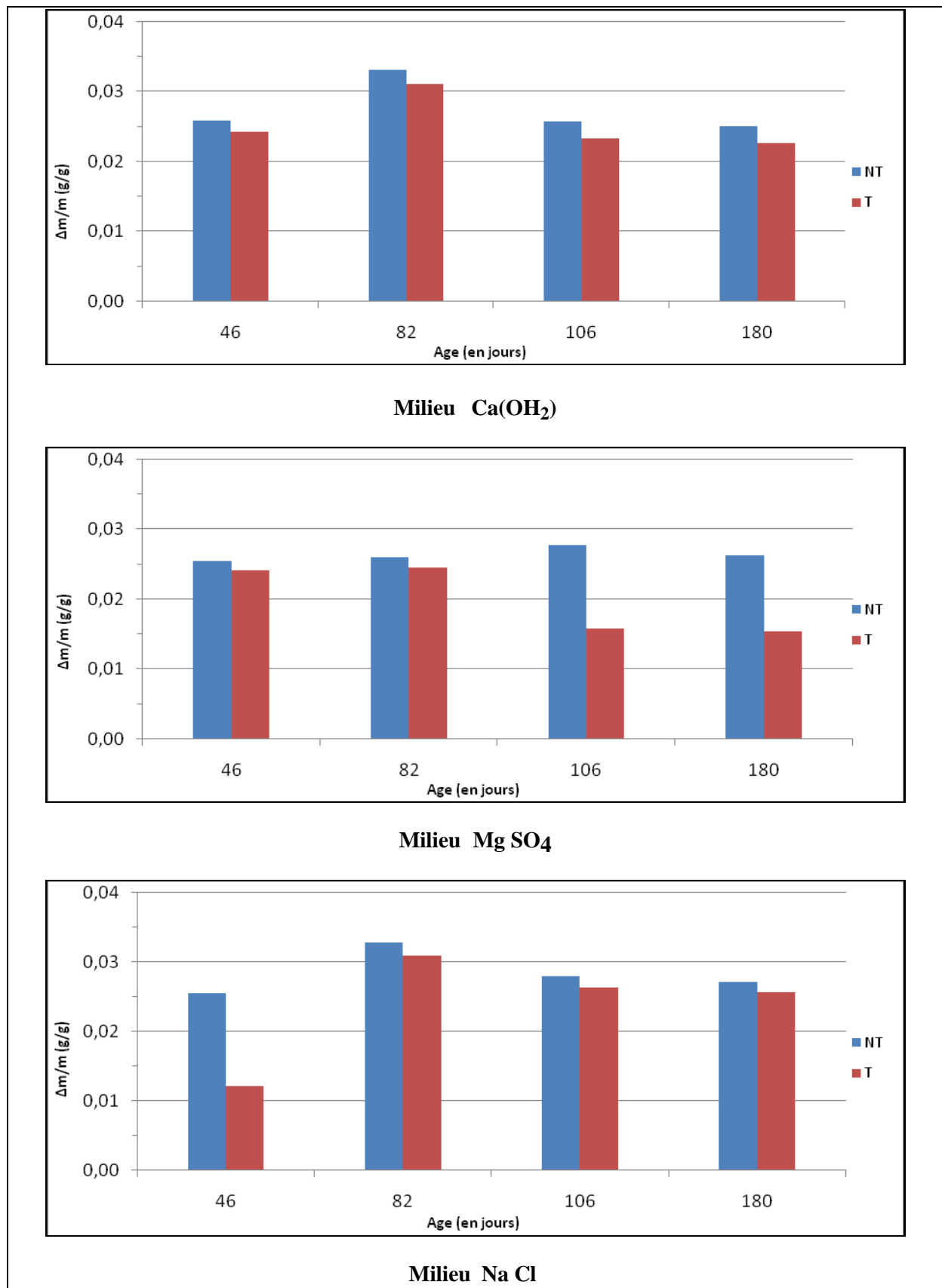
Les histogrammes représentés en figure IV.18 et IV.19 résument les résultats de la variation du poids des BSD et des BSA à base de copeaux de bois traités et non traités dans les différents milieux.

Pour les deux types de bétons de sable la variation du poids augmente lorsque l'âge d'immersion augmente jusqu'à 82 jours, puisque les granulats de bois absorbent une quantité d'eau importante, donc l'immersion dans l'eau améliore la variation du poids de la même façon que les bétons habituels.

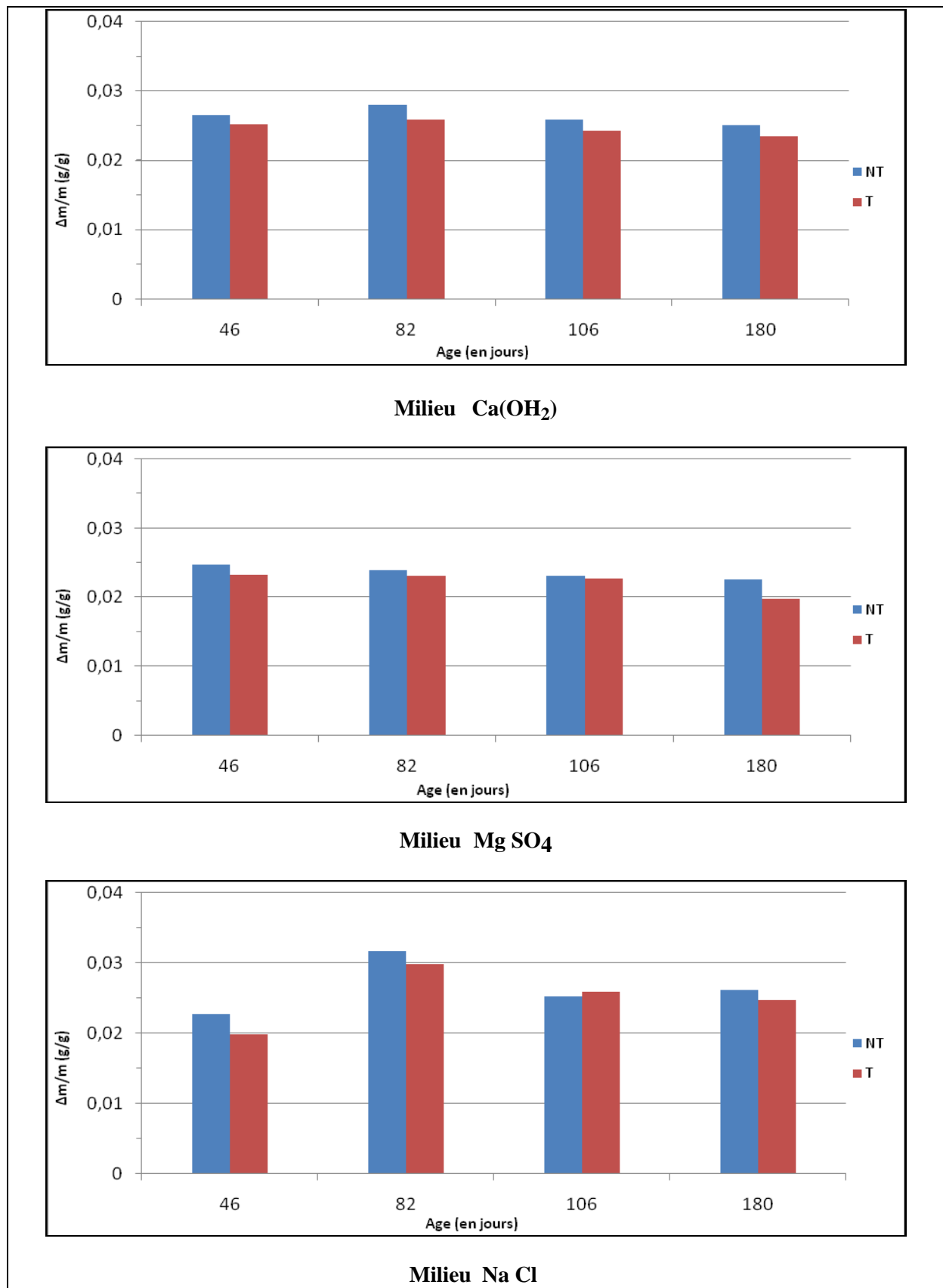
On constate d'après les figures IV.18 et IV.19, on voit que les bétons de sable à base de copeaux de bois traités subissent des variations du poids absolument supérieures à celles des bétons de sable à base de copeaux de bois non traités .

Cela est dû au fait que les granulats de bois non enrobé par le lait de ciment sont très sensibles à l'humidité. Par contre dans les copeaux enrobé par le lait de ciment, les capillaires sont fermés par l'enrobage du ciment.

L'utilisation le lait de ciment comme enrobage pour les copeaux de bois réduit l'absorption de l'eau .Donc le béton à base de copeaux de bois traités sera plus avantageux en matière de légèreté que le béton à base de copeaux de bois non traités.



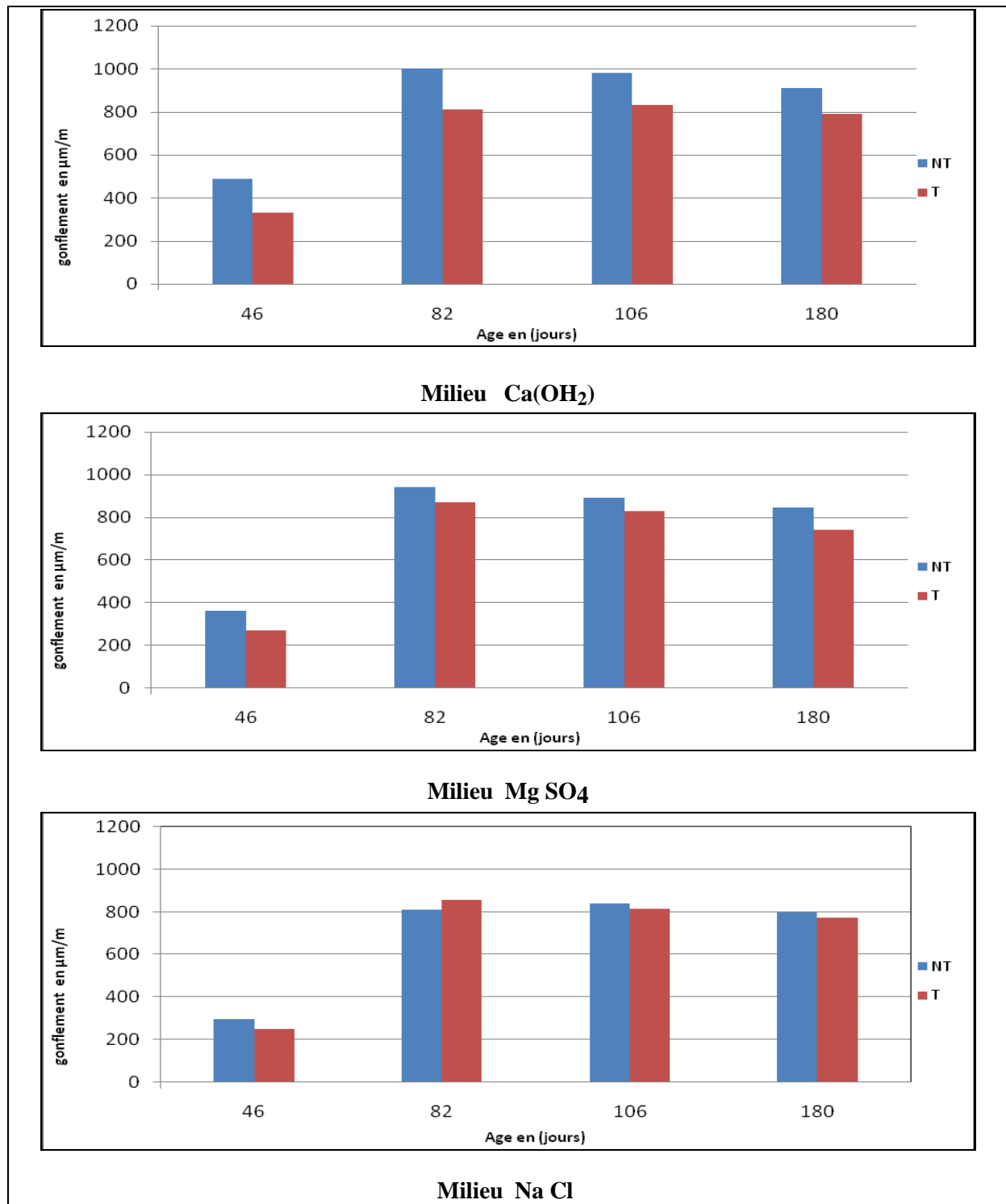
**Figure IV.18:** Histogramme de comparaison de la variation du poids des BSD traité et non traité dans différents milieux



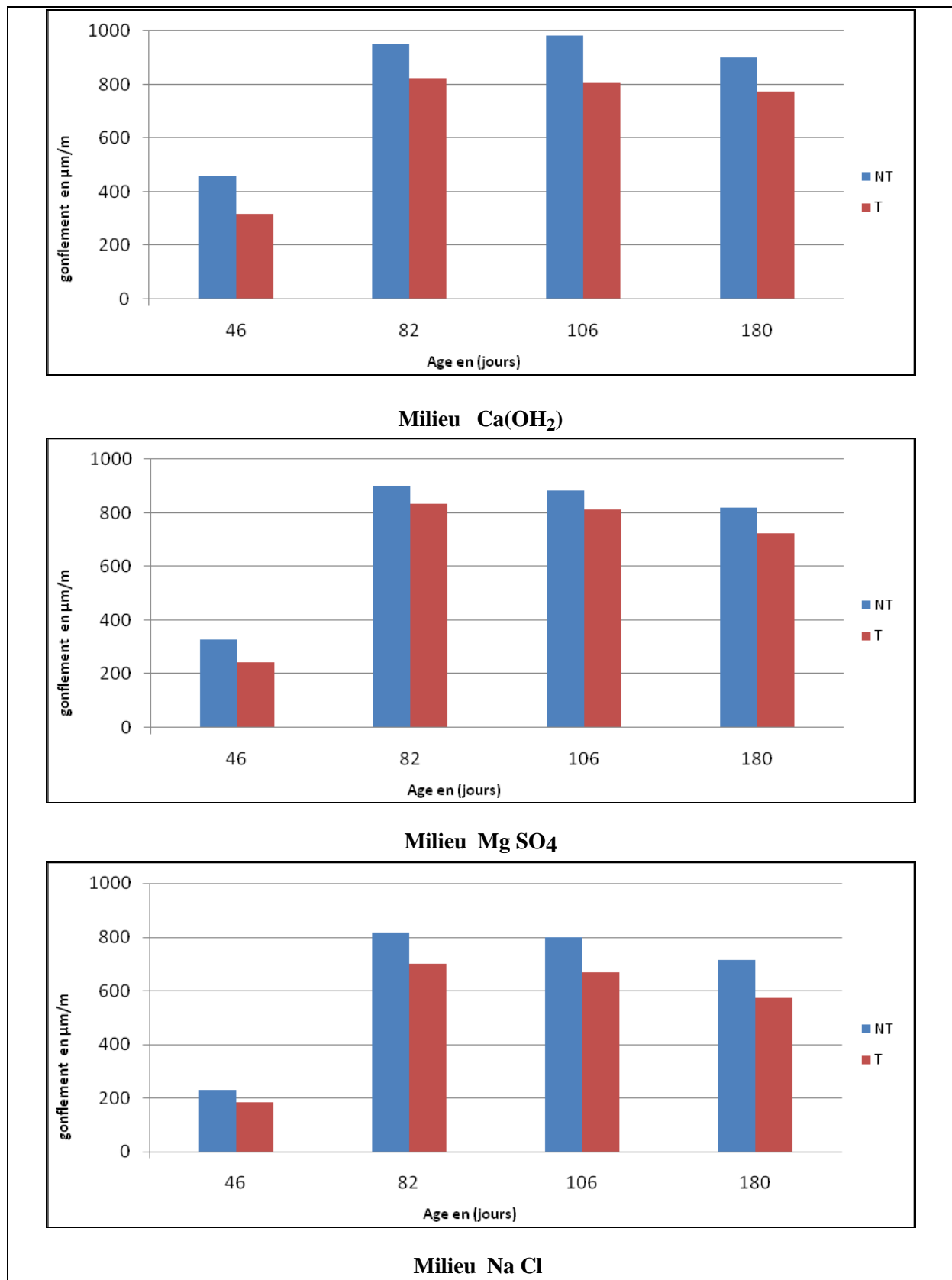
**Figure IV.19:** Histogramme de comparaison de la variation du poids des BSA à base de copeaux de bois traités et non traités dans les différents milieux

### IV.5.3.2. VARIATIONS DIMENSIONNELLES

Les histogrammes représentés en figure IV.20 et IV.21 résument les résultats des variations dimensionnelles des BSD et des BSA à base de copeaux de bois traités et non traités dans différents milieux.



**Figure IV.20** : Histogramme de comparaison des variations dimensionnelles des BSD à base de copeaux de bois traités et non traités dans les différents milieux



**Figure IV.21:** Histogramme de comparaison des variations dimensionnelles des BSA traité et non traité dans différents milieux

D'après les figures IV.20 et IV.21 on voit que les bétons de sable à base de copeaux de bois traités subissent des variations dimensionnelles nettement supérieures à celles des bétons de

sable à base de copeaux de bois non traités. Cela est dû au fait que les granulats de bois non traités sont très sensibles à l'humidité. Les capillaires sont ouverts et prêt à l'absorption d'eau. Par contre dans les copeaux traités, les capillaires sont fermés par l'enrobage du traitement. C'est la raison pour laquelle l'utilisation des granulats de bois à l'état brute est déconseillée, un traitement préliminaire est, donc, recommandé.

L'utilisation des copeaux de bois traité réduit l'absorption de l'eau. Donc le béton à base de copeaux de bois traités sera plus intéressant en matière de légèreté que le béton à base de copeaux de bois non traités.

#### **IV.6 CONCLUSION**

Le comportement mécanique des bétons de sable à base de copeaux de bois dans les différents milieux de conservation diffère d'un milieu à l'autre. Cela est dû au mécanisme de dégradation qui est du, bien sûr, à la nature de l'agent agressif, ainsi qu'à la nature des différents composants des bétons étudiés. Les sulfates provoquent des dégradations internes du matériau. Les chlorures de sodium, en contact avec la surface de l'éprouvette, permet la pénétration d'ions de chlorure dans le matériau. D'après les résultats obtenus, on remarque une augmentation de la résistance à la compression jusqu'à l'âge de 82 jours, quelque soit le type de béton. Apparemment, la résistance à la compression, dans cette période, n'est pas affectée par l'attaque des différents milieux agressifs.

Par ailleurs, on remarque que la résistance à la compression du béton de sable à base de copeaux de bois traités est relativement supérieure à celle du béton de sable à base de copeaux de bois non traités. Ceci est dû au fait qu'avec des copeaux de bois traités, les pores du bois sont fermés et isolés, ce qui constitue une barrière contre la diffusion des produits agressifs dans le matériau.

D'après les résultats obtenus et concernant le milieu à la chaux ; il paraît que le béton de sable dunaire sans copeaux de bois (immérgé dans l'eau saturée à la chaux) a subi, entre le 28<sup>ème</sup> et le 82<sup>ème</sup> jour, un gain de masse atteignant un seuil d'environ 0,0287 (g/g), suivi d'une perte de masse atteignant aux environs de 0,0209 (g/g) au 180<sup>ème</sup> jour, et dans le béton de sable alluvionnaire sans copeaux de bois un gain de masse atteignant un seuil d'environ 0,0239 (g/g) suivi d'une perte de masse de l'ordre de 0,0212 (g/g) au 180<sup>ème</sup> jour.

Concernant l'évolution du gonflement au cours du temps, on remarque qu'elle est similaire pour l'ensemble des bétons confectionnés. Tous les bétons ont montré une augmentation du gonflement qui est traduit par l'infiltration de la solution agressive dans les pores. On peut

même observer visuellement l'augmentation du volume des éprouvettes (gonflement) dans la période entre le 28<sup>ème</sup> et 82<sup>ème</sup> jour. Juste après cette période, on peut facilement remarquer une diminution progressive du volume.

## Conclusion générale

---

Ce mémoire s'intéresse à la valorisation des différents matériaux locaux et à la réutilisation des déchets d'origines diverses (minéraux, industriels, agricoles etc.),

Les matériaux étudiés sont des bétons de sable, alluvionnaire et dunaire, à base de copeaux de bois. Les matériaux valorisés sont un sable alluvionnaire et un sable de dune qui se trouvent en quantités importantes dans le sud algérien, en particulier dans la région de Laghouat.

Les déchets réutilisés sont des copeaux de bois provenant des déchets de menuiserie, et des fillers calcaires provenant des déchets de concassage.

Ce travail a pour but l'étude du comportement physico-mécanique des bétons de sable à base de copeaux de bois, traités et non traités, ainsi que de leur durabilité vis-à-vis de l'attaque de différents milieux agressifs.

L'étude physico-mécanique des bétons étudiés, nous a permis d'avancer certaines conclusions, parmi lesquelles on peut citer:

- Les résistances mécaniques, que ce soit en compression ou en flexion, augmentent avec le temps, quelque soit le type de sable, dunaire ou alluvionnaire;
- Les bétons de sable alluvionnaire présentent des performances mécaniques meilleures que celles des bétons de sable dunaire. On a enregistré une résistance en compression à 28 jours de l'ordre **24,27 MPa** pour le béton de sable alluvionnaire, par contre pour le béton de sable dunaire on n'a enregistré que **21,08 MPa**;
- A cause de leur faible masse volumique, l'ajout des copeaux de bois diminue la résistance mécanique des bétons de sable, ce qui est tout à fait logique, car les résistances sont, en général, une fonction croissante de la masse volumique. A titre indicatif, et avec une teneur de  $40\text{kg/m}^3$  de bois, on a enregistré des taux de diminution de résistance de l'ordre de **38%** dans le cas du béton de sable alluvionnaire et de l'ordre de **34%** dans le cas de béton de sable dunaire
- L'étude des variations dimensionnelles, nous a permis également de mettre en évidence l'influence négative de l'ajout des copeaux de bois, sur les variations dimensionnelles. L'introduction des copeaux de bois augmente le retrait des bétons d'une manière significative. Avec  $40\text{kg/m}^3$  de bois, un taux d'augmentation de retrait de l'ordre de **33%** a été remarqué dans le cas du béton de sable alluvionnaire et de l'ordre de **30,7%** dans le cas du béton de sable dunaire ;

- Par ailleurs, le traitement des copeaux de bois avant leur utilisation a résolu le problème en améliorant considérablement le retrait. A titre d'exemple, et pour un dosage en copeau de bois de  $40 \text{ kg/m}^3$ , les retraits diminuent de  $1114,67 \text{ }\mu\text{m/m}$  à  $969,79 \text{ }\mu\text{m/m}$  dans le cas du béton de sable dunaire et de  $1082,29 \text{ }\mu\text{m/m}$  à  $926,58 \text{ }\mu\text{m/m}$  dans le cas du béton de sable alluvionnaire,
- Le comportement mécanique des bétons de sables conservés dans des milieux agressifs diffère d'un milieu à autre. D'après les résultats obtenus, on a remarqué l'augmentation des résistances en compression qui s'étend jusqu'au 90ème jour environ, quelque soit le type de béton,
- Apparemment, les milieux dans cette période constituent un environnement favorable pour la poursuite de l'hydratation du ciment et même peut être pour la formation de nouveaux minéraux ce qui avait pour effet l'augmentation de la compacité et par conséquent la résistance mécanique ;
- Au-delà de trois mois de conservation, les résistances mécaniques présentent une diminution légèrement progressive, mais il faut noter que, bien qu'on a enregistré une perte d'environ 15-18% par rapport à la résistance à l'âge de 90jours, un gain d'environ 20-40% a été enregistré par rapport à la résistance initiale de 28j selon le type de béton étudié, sa composition et le milieux de conservation.

Enfin et même si l'intérêt de ce type de matériau est déjà mis en évidence par le présent travail qui constitue une suite à une série de travaux antérieurs réalisés par d'autres chercheurs au laboratoire de génie civil de l'université de Laghouat, des études complémentaires sont toujours souhaitables pour aller vers un développement industriel de ces produits telles que le fluage, une étude approfondie sur la répartition des pores et de leurs taille, la recherche de nouveaux traitements pour les copeaux de bois, d'autres ajouts et d'autres agents agressifs.

Nous espérons, enfin, que ce modeste travail contribuera à une large diffusion de ce type de matériaux dans le domaine de la construction, notamment dans la région de Laghouat.