

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE et POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie civil



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

*Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur
d'état*

THEME

*Etude Expérimentale Du Recyclage Des
Débris De Maçonnerie Dans Les Mortiers
De Ciment*

Proposé et dirigé par :

M. K.SILHADI

Présenté par :

BOUKHATEM Farid

FERGANI Mohamed Amine

Promotion 2006

ENP : 10, avenue Hacène Badi, El Harrache, Alger

Résumé

En Algérie, les constructions sont souvent réalisées avec de la maçonnerie. Ainsi elle représente la plus grosse partie des déchets de constructions et de démolition.

Le but principal de cette étude est de déterminer l'effet de la présence du plâtre dans un sable issu de la démolition de différents types de mur en brique (simple cloison, et double cloison)

Pour cela, dans la première partie nous allons étudier les caractéristiques mécaniques des mortiers dosés à 350kg/m^3 à base de sable recyclé avec une teneur en brique de 60,70, et 80% , et pour chaque dosage en terre cuite nous avons pris cinq dosages de plâtre (0,0.5, 1,1.5, et 2%) en complétant avec du mortier de ciment.

Dans la deuxième partie, nous allons étudier les caractéristiques thermiques des mortiers déjà confectionnés dans la première partie.

Mots clés : Recyclage, Déchets, Maçonnerie, Mortier de ciment, Brique, Plâtre.

Abstract

In Algeria, constructions are often carried out with masonry. It represents the largest part of constructions waste and demolition.

The principal goal of this study is to determine the effects of plaster presence in a sand coming from demolition of different types of masonry dividing walls (simple and double dividing walls).

To do this, first we study mechanical characteristics of proportioned mortars with 350kg/m^3 based on a recycled sand with different crushed brick contents (60,70,80%), by using five dosages of plaster (0,0.5,1,1.5,2%) for any mixture and completing with a cement mortar.

Second, we study thermal characteristics of these mortars.

Key words: Recycling, scraps, masonry, cement mortar, brick, plaster.

ملخص

تبنى الجدران الفاصلة في المنشآت في غالب الأحيان بواسطة الماسونية. فهي تمثل الجزء الأكبر من بقايا تحطيم البنيات وتهديمها.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة, هو معرفة آثار وجود الجبس في رمل ناتج عن تحطيم عدة أنواع من الجدران الفاصلة (بسيطة و مزدوجة).

للقيام بهذا، نبدأ بدراسة الخصائص الميكانيكية لملاط بتركيز 350كغ/م^3 من الإسمنت مكون من رمل أعيد استعماله و يحتوي على نسب مختلفة من الأجر المطحون (60، 70، 80 %) مع استخدام عدة تراكيز للجبس (0، 0.5، 1، 1.5، 2 %) لكل كمية آجر و تكميل ذلك بملاط إسمنتي.

في المرحلة الثانية، نقوم بدراسة الخصائص الحرارية لهذا الملاط .

كلمات مفتاحية: إعادة تقييم, إعادة استعمال, بقايا. الماسونية, ملاط الاسمنت, آجر, الجبس .

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Ensuite, nous remercions nos parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continueront à nous aider dans tous les projets de l'avenir. Ainsi que tout les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet. Sans oublier nos chers amis que nous avons rencontré à l'école ou même à l'extérieur et précisément notre cher ami Bouzidi Sid Ahmed, et Benramoul oussama..

Nous remercions très sincèrement notre promoteur, Monsieur K.SILHADI pour tous le savoir qui nous a apporté en 3^{ème} année ainsi pour nous encadrer et diriger au cours de nos projet de fin d'étude. Aussi, pour tous les professeurs de l'ENP et sans oublier Monsieur SAADA qui nous a aide pour l'accès au laboratoire des mines afin d'effectuer l'opération du concassage.

Nous tenons à remercier toutes les personnes du laboratoire des matériaux à l'ENP et précisément Mr. Rachid le technicien et Mme. Debich et ceux de LCTP pour les nombreuses explications qu'ils nous ont patiemment données, l'aide technique précieuse qu'ils nous ont apporté et en plus le grand bénéfice que nous avons tiré au contact de leur expérience.

Table Des Matières

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------	----------

Chapitre I Déconstruction et Recyclage

1. LA DECONSTRUCTION.....	2
1.1 Principes	2
1.2 Les débris.....	2
1.3 La déconstruction sélective	2
1.3.1 Définition	2
1.3.2 Objectif de la déconstruction sélective	2
1.1.3 Tri des déchets de chantier.....	3
1.1.4 L’outil informatique	3
2. RECYCLAGE.....	4
2.1 Historique.....	4
2.2 Introduction.....	4
2.3 Définitions.....	4
2.4 Classification des déchets	5
2.5 Le bâtiment se recycle	6
2.6 Objectifs des pays développés dans le domaine de recyclage	7

Chapitre 2 La maçonnerie

1. GENERALITE	8
2. LA TERRE CUITE.....	8
2.1 Généralité.....	8
2.2 Propriétés mécaniques	8
2.3 Propriétés physiques	9
3. LES MORTIERS	10
3.1 Généralité	10
3.2 Constitution des mortiers	10
3.2.1 Les liants.....	10
a- Le ciment	10
b- La chaux	10
3.2.2 Les sables	11
3.2.3 Eau.....	11
3.3 Etude des qualités d’un mortier	11
4. PLATRE	13
4.1 Généralité	13
4.2 Liants hydrauliques et plâtre	14
4.3 Résistances mécaniques du plâtre	15
4.4 Propriétés physiques et chimiques du plâtre	15

Chapitre 3 Notions de Thermique

1. LES PROPRIETES THERMIQUES DES MATERIAUX.....	17
2. QUELQUES DEFINITIONS DE THERMIQUE	17
2.1 La température	17
2.2 La conduction	17
2.3 La convection.....	19
3.4 Le rayonnement	19

Chapitre 4 Caractéristiques des matériaux utilisés

1. MATERIAUX UTILISES	20
1.1 Granulats	20
1.2 Ciment	20
1.2.1 Définition.....	20
1.2.2 Analyse chimique	21
1.2.3 Essais physiquo-mécaniques	21
1.3 Eau de gâchage.....	22
2. CONFECTION DU MORTIER.....	22

Chapitre 5 Les essais réalisés

1. PROCEDURES D'ESSAIS SUR MORTIER	23
Equipements	24
2. LES ESSAIS D'IDENTIFICATION DU MATERIAU	24
2.1 Analyse granulométrique.....	24
2.2 Module de finesse	24
2.3 Masses volumiques.....	24
2.4 Absorption d'eau.....	24
2.5 Compacité et porosité	24
2.6 Equivalent de sable.....	25
3. CARACTERISTIQUES MECANQUES DE MORTIER A BAS (BRIQUE + PLATRE + MORTIER DE CIMENT).....	25
3.1 Essais de maniabilité.....	25
3.2 Essai de résistance à la traction par flexion.....	25
3.3 Essai de résistance à la compression.....	26
3.4 Essai D'absorption capillaire.....	27

Chapitre 6 Résultats et Interprétations

1. ESSAIS D'IDENTIFICATION	28
1.1 Sable recyclé à base de 60 %brique+plâtre+mortier de ciment (S _{60/P})...	28
1.1.1 Analyse granulométrique	28

1.1.2	Module de finesse.....	29
1.1.3	Masses volumiques.....	29
1.1.4	Absorption d'eau.....	30
1.1.5	Compacité et porosité.....	30
1.1.6	Equivalent sable.....	31
2.1	Sable recyclé à base de 70 %brique+plâtre+mortier de ciment (S _{70/P}).....	32
2.1.1	Analyse granulométrique.....	32
2.1.2	Module de finesse.....	33
2.1.3	Masses volumiques.....	33
2.1.4	Absorption d'eau.....	34
2.1.5	Compacité et porosité.....	34
2.1.6	Equivalent sable.....	35
3.1	Sable recyclé à base de 80 %brique+plâtre+mortier de ciment (S _{80/P}).....	36
3.1.1	Analyse granulométrique.....	36
3.1.2	Module de finesse.....	37
3.1.3	Masses volumiques.....	37
3.1.4	Absorption d'eau.....	38
3.1.5	Compacité et porosité.....	38
3.1.6	Equivalent sable.....	39
2.	CARACTERISATION DES MORTIERS.....	40
2.1	Étude des éprouvettes mécanique (4×4×16 cm).....	40
2.1.1	La masse volumique apparente du mortier.....	41
2.1.2	Résistance à la compression	43
2.1.3	Résistance à la traction par flexion	44
2.1.4	Absorption d'eau par capillarité.....	46
2.1.4.1	Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps	46
2.1.4.2	Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps	
	pour (S _{60/0} , S _{70/0} , et S _{80/0}).....	48
2.2.	Étude des essais thermiques sur des éprouvettes (4 ×8×16 cm).....	49
	CONCLUSION	52
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
	ANNEXE	

Liste des figures

	Page
Fig 1.1 Structure du modèle informatisé d'optimisation du démontage et du recyclage des bâtiments résidentiels	3
Fig 5.1 Dispositif de l'écrasement à la compression.....	26
Fig 5.2 Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire.....	27
Fig. 6.1: Distribution granulométrique pour le sable de 60% brique.....	28
Fig 6. 2 : Distribution granulométrique pour le sable de 70% brique.....	32
Fig 6. 3 : Distribution granulométrique pour le sable de 80% brique.....	36
Fig. 6.4 : Evolution la masse volumique apparente dans le temps pour le sable de 60% brique.....	41
Fig. 6.5 : Evolution la masse volumique apparente dans le temps pour le sable de 70% brique.....	42
Fig. 6.6 : Evolution la masse volumique apparente dans le temps pour le sable de 80% brique.....	42
Fig. 6.7 : Evolution de la Résistance à la compression dans le temps pour le sable de 60% brique.....	43
Fig. 6.8 : Evolution de la Résistance à la compression dans le temps pour le sable de 70% brique.....	43
Fig. 6.9 : Evolution de la Résistance à la compression dans le temps pour le sable de 80% brique.....	43
Fig. 6.10 : Evolution de la Résistance à la traction par flexion dans le temps pour le sable de 60% brique.....	44
Fig. 6.11 : Evolution de la Résistance à la traction par flexion dans le temps pour le sable de 70% brique.....	44
Fig. 6.12 : Evolution de la Résistance à la traction par flexion dans le temps pour le sable de 80% brique.....	45
Fig. 6.13 : Evolution de la l'absorption capillaire au cours du temps pour le sable de 60% brique.....	46
Fig. 6.14 : Evolution de la l'absorption capillaire au cours du temps pour le sable de 70% brique.....	47

Fig. 6.15 : Evolution de la l'absorption capillaire au cours du temps pour le sable de 80% brique.....	47
Fig. 6.16 : Evolution de la l'absorption capillaire au cours du temps pour (S_{60/0}, S_{70/0}, et S_{80/0}).....	48
Fig. 6.17 : variation de la masse volumique apparente en fonction de pourcentage du plâtre ensable recyclé de 70% de brique	49
Fig. 6.18 : variation de la conductivité thermique en fonction de pourcentage du plâtre ensable recyclé de 70% de brique	50
Fig. 6.19 : variation de la masse volumique apparente en fonction de pourcentage du plâtre ensable recyclé de 80% de brique.....	50
Fig. 6.20 : variation de la conductivité thermique en fonction de pourcentage du plâtre ensable recyclé de 80% de brique.....	50

Liste des tableaux

	Page
Tableau.1.1: Objectifs fixés pour le recyclage des matériaux secs dans différents pays	7
Tableau.3.1 : Valeurs moyennes de conductivité thermique de différents types de matériaux ou produits	18
Tableau.4.1 : Analyse chimique du ciment.....	21
Tableau.4.2 : Analyse physico-mécaniques du ciment.....	21
Tableau .6.1 : Module de finesse S_N , et $S_{60/P}$	29
Tableau. 6.2 : Masse volumique des deux sables S_N , et $S_{60/P}$	29
Tableau 6.3 : Coefficient d'absorption d'eau des deux sables S_N , et $S_{60/P}$	30
Tableau 6.4 : Compacité et porosité des deux sables S_N , et $S_{60/P}$	30
Tableau 6.5 : Equivalent sable des deux sables S_N , et $S_{60/P}$	31
Tableau .6.6 : Module de finesse S_N , et $S_{70/P}$	33
Tableau. 6.7 : Masse volumique des deux sables S_N , et $S_{70/P}$	33
Tableau 6.8 : Coefficient d'absorption d'eau des deux sables S_N , et $S_{70/P}$	34
Tableau 6.9 : Compacité et porosité des deux sables S_N , et $S_{70/P}$	34
Tableau 6.10 : Equivalent sable des deux sables S_N , et $S_{70/P}$	35
Tableau .6.11 : Module de finesse S_N , et $S_{80/P}$	37
Tableau. 6.12 : Masse volumique des deux sables S_N , et $S_{80/P}$	37
Tableau 6.13 : Coefficient d'absorption d'eau des deux sables S_N , et $S_{80/P}$	38
Tableau 6.14 : Compacité et porosité des deux sables S_N , et $S_{80/P}$	38
Tableau 6.15 : Equivalent sable des deux sables S_N , et $S_{80/P}$	39
Tableau 6.16 : Résultat des différents essais réalisée.....	41
Tableau 6.17 : Résultat de l'essais réalisée del'absorptio capillaire au cours du temps	46
Tableau 6.18 : Résultats de la maniabilité, la masse volumique apparente et valeurs moyennes de conductivité thermique pour les différents mélanges réalisés	49



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

L'industrialisation et l'urbanisation se sont développées pendant le 19^{em} siècle et la première moitié du 20^{em} siècle en ignorant pratiquement les conséquences environnementales des nouvelles pratiques de consommation et de production mises en œuvre. Les modes de vie sont devenus de moins en moins économes en matières premières et en énergie consommées et de plus en plus générateurs de déchets, dans la seconde moitié du 20^{em} siècle. Les flux des produits matériels se sont intensifiés et globalisés à l'échelle de la planète. Les matières et matériaux se sont artificialisés avec des caractéristiques qui rendent plus difficile leur réinsertion dans les cycles biogéochimiques naturels. Depuis la fin des années 1950, une prise de conscience s'est développée : les évolutions démographiques, la raréfaction prévisible des ressources naturelles, les crises énergétiques, les catastrophes écologiques ont fixé des bornes à une croissance industrielle incontrôlée.

Aujourd'hui, le respect de notre environnement et la sauvegarde des ressources naturelles obligent les autorités, planificateurs et entreprises à encourager sérieusement la valorisation de ses déchets et l'utilisation de matériaux recyclés, en particulier dans le bâtiment.

Dans les pays européens, et en ALGERIE la valorisation des déchets de chantier est aperçue, aujourd'hui comme une nécessité urgente qu'il faut prendre en charge. En effet devant une prolifération importante de rebut et gravats de construction générés par un développement intensif des activités du BTP, (démolition, réhabilitation, construction, etc...), les espaces réservés au développement de ces déchets se réduisent de plus en plus et deviennent de ce fait saturés.

Les matériaux de recyclage offrent aujourd'hui une véritable alternative technique et économique dans bon nombre d'applications, mais ils doivent répondre aux mêmes règles d'assurance qualité que les matériaux naturels, quant à leurs performances mécaniques, physiques, leurs modalités de fourniture et leurs modes d'utilisation. C'est dans ce cadre que nous avons contribué à l'élaboration de "nouveaux matériaux" à partir de déchets de construction issus de débris de maçonneries : débris de mortier de ciment, de plâtre et de briques. Notre étude comporte deux axes complémentaires :

- ✦ En 1^{er} lieu : Etude de l'effet du plâtre sur le comportement mécanique des mortiers recyclés confectionnés à base du mélange : terre cuite + mortier de ciment concassé + plâtre.
- ✦ En 2^{ème} lieu : Etude du comportement thermique des mortiers recyclés confectionnés à base du mélange : terre cuite + mortier de ciment + plâtre.



**CHAPITRE 1 :
DECONSTRUCTION ET
RECYCLAGE**

1. LA DECONSTRUCTION

1.1 Principes

Une opération de déconstruction est une opération pour laquelle la dépose sélective de tous les matériaux, produits et équipements du second oeuvre, avant abattage de la structure, et le tri au sol, pour certains, sont réalisés et pour laquelle il est recherché une valorisation maximum des déchets, notamment des déchets minéraux.

Le développement du recyclage des gravats (débris d'un bâtiment) de démolition nécessite une amélioration des caractéristiques des déchets de démolition. Un tri peut être obtenu grâce à une déconstruction sélective qui permet une séparation des constituants et évite un mélange de différents matériaux. L'opération consiste alors en une déconstruction sélective, au cours de laquelle le bâtiment est démonté selon une séquence d'opérations d'ordre inverse par rapport à la construction. Le tri obtenu permet l'amélioration des matériaux recyclés ce qui facilite leur réemploi dans le BTP [4].

1.2 Les débris

Les débris sont définis comme la fraction pierreuse et sableuse des déchets provenant de la construction, de la rénovation ou de la démolition de bâtiments et d'ouvrages d'art ou de routes ou d'autres installations. Se distinguent respectivement les :

- débris de béton;
- débris de maçonnerie;
- débris mixtes de béton et de maçonnerie;
- débris d'enrobés hydrocarbonés (bitumeux ou contenant des goudrons).

Les déchets de construction et de démolition se composent pour près de 95% de ces débris. La majeure partie peut être d'autant mieux valorisée qu'elle contient peu d'impuretés et ne doit donc pas être mise en décharge. [5]

1.3 La déconstruction sélective [3]

1.3.1 Définition

La déconstruction sélective consiste à séparer et trier les matériaux lors des travaux de démolition afin d'améliorer leur qualité et de favoriser leur valorisation. La déconstruction sélective constitue une alternative intéressante aux méthodes traditionnelles. Elle consiste en une démolition réalisée matériau par matériau, afin de diminuer au maximum le mélange des déchets générés par les travaux. Il s'agit d'un « déshabillage » progressif du bâtiment pour ne laisser en dernier lieu que la structure.

1.3.2 Objectif de la déconstruction sélective

Le principal objectif de la déconstruction sélective, c'est d'arriver à un tri sélectif pour maîtriser le coût. Or, on peut remarquer qu'avec une démolition conventionnelle on aura des matériaux qui sont mélangés et contiennent généralement des substances dont la séparation s'avère difficile, voire impossible. Par exemple un mur de maçonnerie extérieur qui se compose de trois matériaux (plâtre+mortier de ciment+brique) dont la séparation est très difficile et coûteuse.

1.3.3 Tri des déchets de chantier

Sur les chantiers de démolition la majorité des déchets rencontrés (métaux, bois, gravats amiante...) ne suivent pas les mêmes filières de valorisation ou d'élimination. La mise en place du tri des déchets est une procédure simple qui permet d'être en conformité avec la réglementation et de réduire les coûts liés à leur élimination.

Le tri, permet d'augmenter la pureté de la fraction valorisable des déchets. Plusieurs critères doivent être pris en compte comme le volume des déchets, la place disponible sur le chantier et la difficulté du tri lui-même car certains matériaux sont difficiles à caractériser sur le chantier. Dans les pays développés notamment les pays européens et les Etats-Unis, les déchets de chantier sont de plus en plus triés à la source et une quantité passera dans des centres de tri. Le centre de tri constitue une structure essentielle pour assurer la qualité des matières récupérables.

1.3.4 L'outil informatique

L'IFARE/DFIU a développé un prototype de logiciel de planification de chantier de démolition. Associé à des banques de données sur les filières de recyclage, les matériaux de construction et les techniques de recyclage, il permet une saisie rapide des caractéristiques du bâtiment et le calcul des données nécessaires pour la planification de la déconstruction et de la gestion de déchets (figure 1.1).

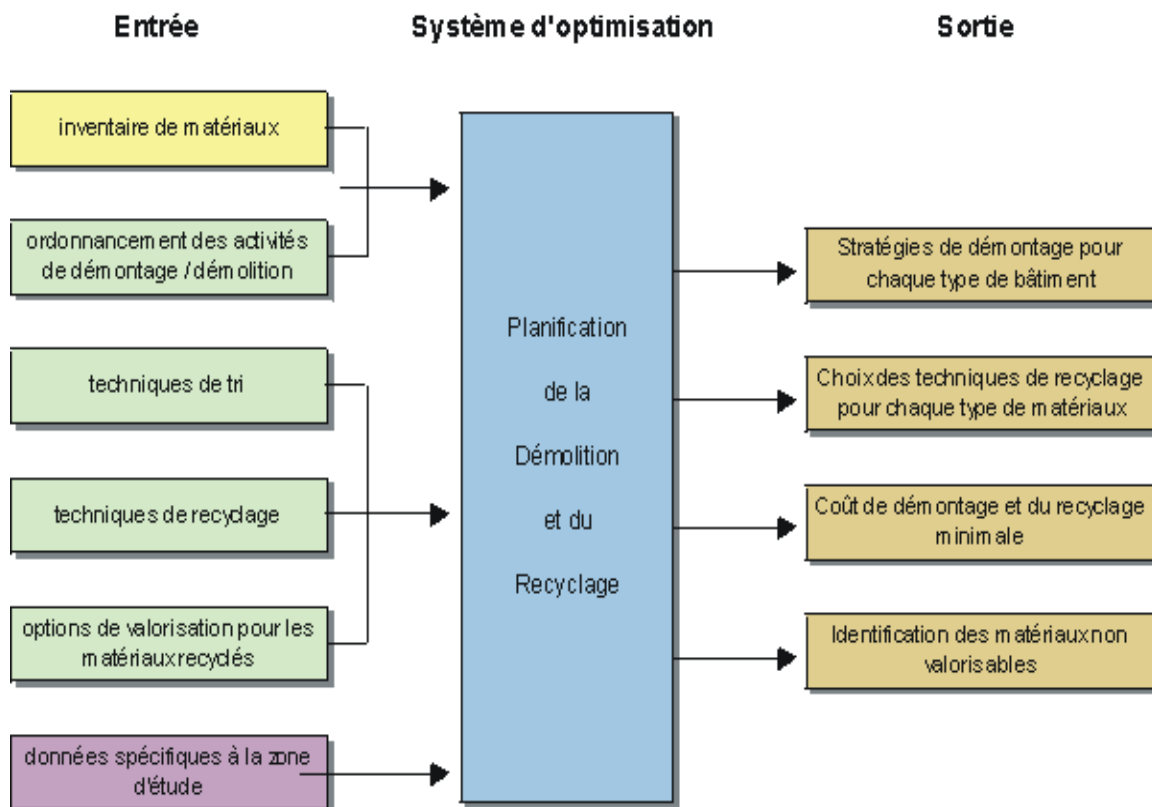


Fig 1.1 Structure du modèle informatisé d'optimisation du démontage et du recyclage des bâtiments résidentiels [3]

2. RECYCLAGE

2.1 Historique

Le recyclage existe depuis toujours dans la nature : les déchets des êtres vivants deviennent de la nourriture pour d'autres organismes. L'homme a pratiqué le recyclage dès l'âge du Bronze quand il récupérait des objets en métal pour les fondre et fabriquer de nouveaux objets.[6] .Pendant et après la seconde guerre mondiale, les gravats provenant des bâtiments détruits par les bombardements étaient employés en Grande Bretagne et en Allemagne, pour la reconstruction de bâtiments [7]. Les publications de cette époque soulignent notamment l'intérêt du réemploi des matériaux de démolition et citent les premiers résultats sur les granulats provenant du concassage de béton.

Cette période d'après-guerre est suivie d'une pose assez longue dans les études, jusqu'à la publication par Buck, d'un rapport de recherche en 1973 ; puis la présentation par le même auteur, d'une communication en 1976 sur l'étude des propriétés physiques des granulats de « béton recyclé » et la comparaison des résistances mécaniques des bétons neufs et recyclés. Les résultats obtenus sont confirmés par Malhotra et complétés par des observations aux microscopes optiques et électroniques à balayage sur les matrices de ciment hydraté. Fondistou-Yannas et Tomasawa mesurent les modules d'élasticité et de retrait d'hydratation du béton recyclé. A partir de 1975, on procède aux Etats-Unis aux premières tentatives de béton armé. La faisabilité de ces opérations est confirmée en 1977 dans deux publications de Frondistou-Yannas tandis que Wilson évalue les « ressources potentielles de débris de démolition aux Etats-Unis>Et les seuils de rentabilité des opérations de recyclage » [8].

2.2 Introduction

L'augmentation des déchets de chantier provient presque exclusivement du bâtiment. Elle est essentiellement imputable à la forte croissance des déchets minéraux [9]. Les quantités de déchets recyclés sont ainsi extrêmement faibles et ne concernent que les métaux, une partie très limitée du bois utilisé pour la fabrication de panneaux de particules, les briques et bétons de démolition (provenant surtout des démolitions d'ouvrages d'art et de génie civil et dans une moindre mesure de bâtiments de composition simple, tels que les hangars industriels). Ces derniers sont utilisés pour des remblaiements ou concassés pour élaborer des granulats recyclés avec une application en Travaux Publics (sous couches de fondation et de base des routes) [10].

2.3 Définitions

Récupérer un déchet, c'est le sortir de son circuit traditionnel de collecte et de traitement. La récupération, qui suppose une collecte séparée ou un tri, se situe en amont de la valorisation.

Le **recyclage** est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve.

Le **réemploi** est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est, en quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il

ne devienne un déchet.

La **réutilisation** consiste à utiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance.

La **régénération** consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve.

La **valorisation** consiste dans «le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie» (loi du 13 juillet 1992). Elle a pour objet de redonner une valeur marchande aux déchets [9].

2.4 Classification des déchets [2].

Il existe quatre types de déchets qui répondent à des définitions très précises :

a)- Les déchets Inertes (DI) : Déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et n'ont aucun effet dommageable sur d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact. Pour le secteur du bâtiment, il s'agit des bétons, des briques, des tuiles, des céramiques, des carrelages...

Le plâtre, déchet minéral, est un cas particulier du fait, d'une part, qu'il peut réagir, en milieu fermentescible et dans certaines conditions, pour former du gaz sulfurique et, d'autre part, qu'il est fortement soluble dans l'eau. Il ne peut donc être considéré comme un déchet inerte mais il est accepté dans les décharges pour déchets inertes, dans les conditions édictées dans le guide technique relatif aux installations de stockage des déchets inertes publié par le MATE en avril 2001.

b)- Les déchets Industriels Banals (DIB) : déchets ni inertes, ni dangereux, générés par les entreprises dont le traitement peut éventuellement être réalisé dans les mêmes installations que les ordures ménagères : cartons, verre, déchets de cuisine, emballages... Pour le secteur du Bâtiment, ce sont essentiellement :

- Les déchets de bois de natures et de compositions diverses - y compris certains bois traités - provenant des coffrages, des palettes, des menuiseries, des cloisons, des planchers, des charpentes, des emballages... (Hors ceux classés dangereux),

- Des déchets plastiques en PVC, polystyrène, polyuréthane, polypropylène (...), provenant des canalisations, des revêtements de sols, des menuiseries, des complexes isolants thermo-acoustiques, des complexes et des films d'étanchéité, des emballages...

- Des déchets de métaux ferreux et non ferreux: acier, fer, aluminium, zinc, cuivre (...) provenant du ferrailage du béton (voiles ou planchers), des réseaux électriques, des équipements de chauffage, des canalisations, des menuiseries, des planchers, des charpentes, des bardages, des toitures, des emballages...

- Des déchets textiles provenant en particulier des revêtements muraux et de sols (moquettes...),
- Des déchets de plâtre provenant des cloisons en plaques ou en carreaux, des doublages pour l'isolation thermique, des faux-plafonds, des planchers, d'éléments de décoration...
- Des déchets de cartons provenant des cloisons, des portes, des emballages...

c)- Déchets Industriels Spéciaux (DIS) : déchets qui regroupent les déchets dangereux autres que les déchets danger eux des ménages (les déchets ménager sont des déchets en matériaux de synthèse qui deviennent toxiques après traitement chimique [11].) et les déchets d'activités de soins et assimilés à risques infectieux. Ces déchets sont classés en trois catégories :

1. Les déchets organiques liquides (solvants, hydrocarbures, huiles etc.)
2. Les déchets minéraux liquides (acides, bains de traitement etc.)
3. Les déchets minéraux solides (amiante, piles, batteries etc.)

d)- Déchets Ultimes (DU) : est un résidu ultime, « un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ».

En Algérie, la majeure partie des déchets solides industriels sont produits par les industries de transformation, notamment l'industrie chimique, des minéraux, mécanique et électrique.

2.5 Le bâtiment se recycle [13]

En Europe 30% seulement des matériaux utilisés dans la construction du bâtiment sont actuellement recyclés, alors que la pratique, dans certains pays européens, démontre que 90% sont réutilisables. En outre, l'industrie de la construction ne pose pas seulement des problèmes à la fin du cycle de vie de ses produits, mais également à son début. Enorme consommatrice de matières premières, elle absorbe chaque année l'équivalent de six à huit tonnes de matériaux par habitant. "Le recyclage nécessite une double approche, à savoir une utilisation accrue de matériaux de construction incorporant des composants recyclés et une récupération beaucoup plus systématique des rebuts issus des démolitions d'immeuble", estime Carlo De Pauw, coordinateur général du réseau européen de recherche sur les technologies de la construction.

Ce dernier défi est de loin le plus difficile à relever en raison de la longévité des constructions. Nombreuses sont celles qui sont démolies aujourd'hui et qui ont été édifiées dans la première moitié du siècle, sans aucune considération pour cette question. Or, recycler est une entreprise qui se prépare idéalement très en amont, par le choix des matériaux ainsi que la manière de les assembler. La réflexion menée aujourd'hui sur la façon de concevoir un bâtiment durable, à savoir son potentiel de recyclage, bénéficiera donc aux générations futures.

Les solutions sont variées. Les murs, par exemple, sont construits avec des blocs de béton dans lesquels les graviers ont été remplacés par des déchets d'aciérie. La finesse des briques de parement est obtenue avec des granulats d'écrans d'ordinateurs et de télévisions broyés. Les châssis des fenêtres sont en PVC recyclés. "Il s'agit d'une maison de démonstration", explique Edmond Rousseau (CSTC). "Nous proposons une gamme d'utilisation de quelque 210 matériaux recyclés déjà disponibles sur le marché. Ceux-ci viennent des quatre coins d'Europe. Mais dans tous les cas, ces matériaux doivent évidemment répondre à une série d'exigences techniques pour soutenir la comparaison avec des matériaux traditionnels.

2.6 Objectifs des pays développés dans le domaine de recyclage :

La majorité des pays développés se sont fixés des objectifs de valorisation des déchets qui sont donnés dans le tableau N° 1.1.

Le taux de valorisation des déchets inertes est établi en prenant en considération les méthodes suivantes:

- ❖ Réutilisation sur le chantier ou à un autre endroit;
- ❖ Recyclage sur le chantier;
- ❖ Recyclage après regroupement en un lieu prévu à cet effet;
- ❖ Exportation en vue de la réalisation en remblai [14].

Pays	Objectifs
Australie	Réduire de 50% les résidus destinés aux décharges
Autriche	A long terme, réutilisation de 90% des matériaux routiers
Danemark	Réutiliser 54% de la quantité totale des résidus. Réutiliser 60% des résidus de construction et de démolition
France	Supprimer complètement les décharges traditionnelles
Japon	Réduire la production de résidus de 10% et augmenter la réutilisation de 42% à 80%
Pays-Bas	Réutiliser 90% des matériaux de construction et de démolition et poursuivre la réutilisation à 100% des cendres provenant des incinérateurs municipaux
Royaume-Uni	Doubler l'utilisation des matériaux recyclés en 15 ans.

Tableau.1.1: Objectifs fixés pour le recyclage des matériaux secs dans différents pays [15].



CHAPITRE 2 :
LA MAÇONNERIE

1. GENERALITE

La maçonnerie est l'art de bâtir une construction par un assemblage d'objets élémentaires liés de manière non réversible. C'est l'art du maçon par définition. Par extension on associe aussi sous le terme « maçonnerie » les travaux d'habillage des ensembles : pose d'enduits, de carrelages, ... qui n'ont pas seulement un but esthétique mais participent à la tenue de l'ensemble face aux agressions externes (humidité, gel, ...).

La maçonnerie est utilisée généralement pour la réalisation des murs dans les différents types de bâtiments. La paroi en maçonnerie et surtout s'il s'agit d'un mur extérieur, doit satisfaire à des exigences telles que :

- ✗ Résistance mécanique aux diverses sollicitations horizontales et verticales dans son plan et aussi les charges subies perpendiculairement à son plan (action du vent, poussée des terres, chocs).
- ✗ Isolation thermique et acoustique des locaux qu'il délimite afin d'assurer le confort des habitants.
- ✗ Résistance au feu.
- ✗ Protection contre l'eau de pluie et le vent.
- ✗ Protéger et s'opposer à la pénétration de l'eau de pluie.
- ✗ Résistance aux agents chimiques.

Il est vrai que la grande diversité des éléments de maçonnerie (nature des matériaux, dimensions et structure interne des éléments) s'ajoute à une variété limitée des mortiers associés nous mène à penser qu'un recyclage des matériaux de maçonnerie est possible, vu le caractère inerte des matériaux le constituant.[16]

2. LA TERRE CUITE

2.1 Généralité [17]

Les matériaux de terre cuite sont utilisés depuis plusieurs siècles dans le bâtiment. Ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs tant dans le domaine traditionnel que dans celui dit industrialisé. Les caractéristiques des produits de terre cuite permettent à ceux-ci d'être employés dans toutes les parties de la construction avec efficacité. Ce sont essentiellement **les briques, les tuiles, les éléments pour planchers, les conduits de fumée, les carreaux rustiques, des éléments de décoration**, etc.

Ils sont fabriqués par cuisson d'argiles communes à la température de 900°C à 1050°C pour obtenir enfin de produits généralement poreux et de différentes formes.

2.2 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques de la terre cuite varient avec sa composition initiale, et avec la température et la durée de cuisson qui fixent les microstructures finales et déterminent la répartition des différentes phases en présence.

Les terres cuites sont des matériaux hétérogènes et poreux, constitués de phases solides distinctes. Ces pores, qui constituent des discontinuités dans le matériau, sont la principale cause de leur fragilité. De plus, dans cas des argiles calcaires, le départ du dioxyde de carbone dû à décomposition du carbonate de calcium accroît lors de la cuisson porosité du produit.

La loi de comportement de la terre cuite est de type élastique linéaire à rupture fragile. La résistance en compression peut varier entre 5 et 40 MPa dans le cas des briques pleines et entre 3 et 100 MPa dans le cas de produits creux. Les résistances en traction peuvent varier entre 5 e 12 MPa. Le module d'élasticité E croît avec la résistance à la compression; il est plus élevé pour les schistes argileux que pour les argiles de surface. Il varie de 9 000 à 15 000 MPa dans le cas des briques pleines courantes et de 20 000 à 40 000 MPa environ clans le cas des produits creux. Ce module augmente avec la température de cuisson, plus fortement après 1 050°C. Il peut être relié à la porosité (P) par la relation empirique suivante :

$$E = E_0 (1 - 1,9P + 0,9P^2)$$

Où E_0 représente le module d'un matériau à porosité nulle.

Les seuls produits pour lesquels des performances mécaniques sont demandées dans les normes de référence sont les produits de maçonnerie (résistance en compression) et les entrevous pour planchers préfabriqués (rupture par poinçonnement-flexion, résistance en compression, module d'élasticité).

2.3 Propriétés physiques

Les terres cuites peuvent être le siège de variations dimensionnelles avec l'humidité. En effet, les produits, totalement secs à la sortie du four, absorbent de l'eau par hygroscopicité et de ce fait gonflent de quelques dixièmes de millimètres par mètre. Ce gonflement intervenant avant la mise en oeuvre des produits, n'entraîne généralement pas de désordres particuliers sur les ouvrages.

En revanche, pour certains types de terre cuite, un autre mode de gonflement beaucoup plus important peut intervenir. Ce dernier est irréversible à la température ordinaire et seule une recuisson permet un retour à l'état initial. On peut provoquer artificiellement ce gonflement à l'autoclave (180°C, 10 MPa) et l'on admet entre le gonflement naturel à long terme g_n et le gonflement à l'autoclave g_a , exprimés en millimètres par mètre, la relation suivante :

$$g_n = 0,60 g_a + 0,605$$

Une autre propriété physique importante de la terre cuite, liée à sa porosité, est sa résistance au gel. Bien que cette dernière ne soit pas seulement fonction du volume des vides ruais aussi du diamètre des pores, on peut considérer qu'une résistance élevée en compression va généralement de pair avec une bonne résistance au gel. Les altérations sont dues à des éclatements produits par l'augmentation du volume de l'eau contenue dans les pores. La résistance au gel d'un produit est caractérisée dans les normes par une mesure de perte de masse sous l'effet de cycles répétés de gel et de dégel.

3. LES MORTIERS [18]

3.1 Généralité

Le mortier est à la base de tous les travaux de maçonnerie que ce soit pour construire, pour enduire ou pour réparer. Le mortier est un mélange de sable, d'eau et de liant (ciment ou chaux) qui durcit comme de la pierre.

En fonction de leur composition on distingue 5 types de mortiers :

- **Mortier de ciment** : Fabriqué avec du ciment artificiel de type Portland, blanc ou gris. Il est très résistant.
- **Mortier de chaux**: Fabriqué avec de la chaux hydraulique. Moins résistant et moins étanche que le mortier de ciment, il est plus souple et laisse respirer les murs.
- **Mortier bâtard**: Fabriqué avec un mélange de ciment et de chaux. Il présente des caractéristiques intermédiaires entre le mortier de ciment et le mortier de chaux.
- **Mortier réfractaire**: A base de "fondu", pour les cheminées et barbecues.
- **Mortier rapide**: A base de ciment "prompt", pour les scellements.

3.2 Constitution des mortiers:

Les mortiers sont principalement constitués de liant, de sable et d'eau

3.2.1 Les liants

a- Le ciment

Les ciments sont constitués de petits grains individuels de différentes matières, mais ils doivent être statistiquement homogènes en composition. Un haut degré de régularité dans toutes les propriétés du ciment est obtenu par un procédé continu de production en masse et, en particulier, par des procédés convenables de broyage et d'homogénéisation. Pour la production des ciments faisant l'objet de la présente norme, il est essentiel de disposer du personnel qualifié et spécialisé, d'installations appropriées pour effectuer les essais ainsi que pour évaluer et ajuster la qualité du produit.

Dans la plupart des cas, on utilise du ciment Portland avec ou sans constituant secondaire (CPA-CEM I et CPJ-CEM II/A ou B).

Pour les mortiers réalisés sur chantier, on préfère les ciments à faible résistance mécanique (classe 32,5) qui donnent des mortiers moins "nerveux", au retrait moins important et présentant une déformabilité mieux adaptée.

b- La chaux

Il est obtenu par calcination, c'est-à-dire chauffage à haute température, de pierre calcaire. Selon la composition du matériau de base, on obtiendra de la

- La **chaux aérienne** est obtenue à partir de calcaire très pur.
- La **chaux hydraulique** est obtenue à partir de calcaire contenant des silicates, aluminates, des composés de magnésium.

3.2.2 Les sables

Le sable, ou arène, est une roche sédimentaire meuble, constituée de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 et 2 mm.

. Ils proviennent de deux sources :

- * Naturelle : Mer, Oued, Sahara. Ce cas représente la quasi totalité des constructions.
- * Industrielle : issu du concassage des granulats de carrière, et plus rarement du recyclage des déchets de construction.

3.2.3 Eau

Le dosage en eau dépend de l'utilisation du mortier : un enduit à projeter doit être beaucoup plus liquide qu'un mortier d'assemblage de parpaings. Un mortier trop sec manque d'homogénéité et il est difficile à utiliser (il ne "colle" pas). Un mortier trop humide sèche mal et il est difficile à appliquer en épaisseur (il coule).

3.3 Etude des qualités d'un mortier [16]

Pour les mortiers traditionnels réalisés sur chantier, les performances requises sont réputées satisfaites moyennant le respect des dosages en liants donnés dans le DTR Maçonnerie ou dans le DTU 20.1 ; quant aux mortiers industriels, ils font l'objet de spécifications de fabrication précises. Les principales caractéristiques visées sont les suivantes :

- * Sur la poudre : masse volumique, granulométrie ;
- * Sur la pâte : rétention d'eau, durée pratique d'utilisation, temps ouvert, temps d'ajustabilité, temps de prise ;
- * La quantité d'eau à utiliser est fonction du dosage et de la finesse de la granulométrie du sable
- * Sur le produit durci : résistance en compression, résistance en traction par flexion, module d'élasticité, variations dimensionnelles et pondérales.

Les caractéristiques essentielles du produit utilisé sont les suivantes :

- * **Maniabilité**

Suivant les emplois, les propriétés requises peuvent être différentes mais dans tous les cas, la maniabilité du mortier conditionne sa mise en oeuvre.

La maniabilité est apportée par les éléments fins (liants et fillers) et par les adjuvants.

Cela explique le surdosage fréquent des mortiers traditionnels composés uniquement de sable et de ciment.

*** Perméabilité**

L'aptitude des mortiers à se laisser traverser par les liquides dans des conditions de pression et de viscosité du liquide données.

La perméabilité diminue en augmentant la compacité, elle n'est obtenue qu'avec un dosage en liant suffisant pour l'enrobage de tous les grains internes.

*** Conditions d'hydratation**

Un autre problème, généralement rencontré lors de la mise en oeuvre des mortiers, est celui de l'hydratation correcte du liant. Les liants hydrauliques ont besoin d'eau pour durcir normalement. Or les mortiers sont souvent appliqués en couche mince et risquent une déshydratation prématurée due à l'absorption des matériaux avec lesquels ils sont en contact ou à l'évaporation. Ce risque amène à utiliser des produits spécifiques (formulations contenant des rétenteurs d'eau) et à prendre des précautions particulières lors de leur emploi par temps chaud (humidification des supports et réhumidification ultérieure).

*** Déformabilité**

Aussi dans les travaux de liaisonnement que de revêtement, le mortier est utilisé en association avec d'autres matériaux et doit présenter une déformabilité suffisante pour absorber les variations dimensionnelles admissibles des supports.

Dans les maçonneries, c'est le mortier de montage qui, par son adaptation, permet une bonne répartition des contraintes dans les éléments.

*** Retrait**

Les contraintes qui résultent du retrait peuvent être absorbées par le développement de microfissures internes non préjudiciables au comportement ultérieur du mortier. Toutefois, dans les travaux de surface, elles peuvent également conduire à des fissurations d'autant plus préjudiciables que le mortier est destiné à assurer la protection de la maçonnerie vis-à-vis de la pluie. Il y a lieu de noter que ces contraintes dépendent non seulement du retrait mais également des caractéristiques mécaniques du mortier et en particulier de son module d'élasticité.

*** Adhérence**

L'adhérence du mortier aux matériaux associés est, dans un grand nombre de cas, un critère primordial de bon comportement.

*** Durabilité**

Dans tous les emplois extérieurs, la résistance aux intempéries conditionne la durabilité du mortier (capillarité, perméabilité à l'eau et à la vapeur, résistance au gel).

En outre, pour les travaux de surface, le mortier doit présenter une résistance aux chocs et à l'abrasion adaptée au niveau de sollicitation prévu (sol, mur, exposition, ...).

Les mortiers pour enduit se subdivisent-en :

- ✓ Mortier pour enduits ordinaires.
- ✓ Mortiers décoratifs.

Suivant le domaine d'utilisation, les mortiers de finissage sont divisés-en :

- ✓ Mortier pour les enduits extérieurs
- ✓ Mortier pour les enduits intérieurs

Les mortiers d'enduit doivent avoir une bonne adhérence à la base et une faible variation de volume pendant le durcissement afin d'éviter la formation des fissures dans l'enduit. La fluidité des mortiers d'enduits ordinaires et des mortiers décoratifs est différente pour chaque couche de l'enduit.

Pour les couches de finition on utilise les sables fins d'un diamètre inférieur à 1.2 mm pour obtenir une surface rugueuse.

4. PLÂTRE [13]

4.1 Généralité

Le plâtre est le produit obtenu par déshydratation et pulvérisation plus ou moins poussées du gypse constitué par du sulfate de calcium bihydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Selon la température de cuisson et le procédé de fabrication, on distingue plusieurs groupes de plâtres:

✓ Plâtre stuc

Le plâtre stuc est cuit à basses températures et est, par conséquent, seulement partiellement déshydraté.

Il est principalement utilisé pour la confection d'éléments préfabriqués en plâtre.

✓ Plâtre pour enduits

Le plâtre pour enduits est cuit à des températures plus élevées que le plâtre stuc. En général il fait prise plus rapidement, mais se laisse travailler plus longtemps en surface.

Il est principalement utilisé pour la confection d'enduits de murs et de plafonds en plâtre pur.

En fonction de la granularité il existe deux plâtres pour enduits:

- Le plâtre gros pour enduits.
- Le plâtre fin pour enduits.

✓ Plâtre retardé

Le plâtre retardé est un plâtre à prise lente, constitué principalement de sulfate de calcium semi-hydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$).

Des additions destinées à assurer sa stabilité, à régulariser sa prise et à améliorer son ouvrabilité sont permises en fabrication.

Il est principalement utilisé pour la confection d'enduits de murs et de plafonds en mortier de plâtre.

4.2 Liants hydrauliques et plâtre [19]

Les chaux hydrauliques et les ciments sont appelés liants hydrauliques car, mélangés avec de l'eau, ils forment une pâte qui se solidifie peu à peu, non seulement dans l'air mais également sous l'eau où elle conserve sa rigidité. Le caractère hydraulique des liants apparaît à la cuisson d'un mélange de silice (SiO_2), d'alumine (Al_2O_3) et de calcaire (CaCO_3).

Les chaux aériennes (CaO), sont ainsi dénommées car elles ne peuvent durcir pour reformer le calcaire dont elles sont issues qu'au contact du gaz carbonique de l'air. Ce ne sont pas des liants hydrauliques. Elles contiennent trop peu de silicates et d'aluminates combinés (moins de 10%). Les plâtres ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ne sont pas non plus des liants hydrauliques.

Le problème de compatibilité chimique est posé par le contact plâtre-liant hydraulique. Ce problème est double :

il y a formation de deux sels gonflants : - étringite
- thaumasite

En présence d'eau, le sulfate de calcium (SO_4) du gypse réagit avec l'alumine insolubilisée par la chaux des liants hydrauliques pour fixer de très nombreuses molécules d'eau et créer un sel pulvérulent. Ce sel, mis en évidence par Candlot, est appelé étringite.

En présence d'eau, et d'étringite le sulfate de calcium du gypse réagit avec les silicates et la chaux des liants hydrauliques pour fixer de très nombreuses molécules d'eau et créer un deuxième sel appelé thaumasite.

L'apparition de ces sels est capricieuse. Il faut une forte hygrométrie et leur formation est lente : quelques semaines ou parfois jamais... les conditions de formation de la thaumasite ne sont pas entièrement claires : la température de $+4^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$, et une teneur initiale en alumine réactive de l'ordre de 0,4% à 1% sont favorables. Leur caractère capricieux est malheureusement le moindre de leurs défauts.

Ces sels, véritables "bacilles du ciment", sont extraordinairement expansifs. Ils sont à l'origine de très nombreux sinistres dans le bâtiment et le génie civil. Partout où de l'eau sulfatée ou gypseuse, dites séléniteuse, baigne des mortiers ou bétons de liants hydrauliques (piles de ponts, ouvrage à la mer, tunnels, égouts, fondations), ils sont susceptibles d'apparaître et de créer des désordres. On dirait alors qu'on a fait exploser à l'intérieur de la masse une petite charge de poudre suffisante pour la briser, mais insuffisante pour la disloquer complètement. On évite ces phénomènes expansifs, en utilisant des ciments spéciaux pauvres en aluminate ou en chaux libre (ciments sursulfatés et ciments alumineux ou fondus).

Ces gonflements peuvent se produire dans des enduits de ciment bien exposés aux pluies, au droit de scellements réalisés en plâtre. Dans le sud Algérien, on peut en remarquer, à proximité de lieux particulièrement humides, sur des soubassements en plâtre revêtus d'un enduit au ciment.

Leifeld (1970) en a même découvert moins de huit semaines après la réalisation d'enduit extérieur et intérieur en mortier de plâtre-chaux aérienne. Les aluminates provenaient d'une pollution argileuse du sable utilisé.

4.3 Résistances mécaniques du plâtre [16]

La quantité d'eau de gâchage du plâtre n'agit pas seulement sur la rapidité de prise et de durcissement ainsi que sur la compacité du produit, mais comme pour les pâtes de ciment, son action est très sensible sur les résistances mécaniques.

Le plâtre ayant fait prise a une résistance mécanique très variable avec le pourcentage d'eau qui l'imbibe ; ceci est dû au fait que la solubilité des cristaux dans l'eau d'imbibition est appréciable. Ce fait nuit à la stabilité de l'enchevêtrement des aiguilles, qui forment dès lors un ensemble moins rigide.

La résistance du plâtre dépend par ailleurs de sa nature, de sa composition et de sa finesse. Le durcissement et l'accroissement de résistance du plâtre ayant fait prise et conservé à l'air ambiant non saturé d'humidité est dû presque uniquement à l'évaporation progressive de l'excédent d'eau de gâchage non nécessaire à l'hydratation. Si le plâtre est conservé en atmosphère saturée aussitôt après sa prise, sa résistance mécanique ne varie pratiquement plus.

4.4 Propriétés physiques et chimiques du plâtre [16]

Le plâtre est cinq fois plus soluble dans l'eau salée à 60 g par litre que dans l'eau douce (maximum de solubilité : dans les eaux saumâtres, 2 fois plus salées que l'eau de mer).

Les eaux contenant en solution du chlorure de magnésium jouissent de la même propriété que les eaux contenant du chlorure de sodium.

Ce point est à noter, surtout en ce qui concerne l'emploi des ciments Portland dans certaines régions, telles que l'Afrique du Nord ; ces eaux saumâtres, en communication avec des terrains gypseux, sont particulièrement dangereuses pour les ciments mettant en liberté de la chaux non fixée et contenant des aluminates (formation de sel de Candlot expansif).

Le plâtre, contrairement aux ciments basiques, corrode le fer et l'acier, et ceci, d'autant plus facilement que le plâtre contient de l'eau dans ses pores. Aussi ne peut-on se servir, pour le gâchage et le moulage du plâtre, d'outils et de moules en fer, mais en laiton de préférence.

On ne peut pas armer le plâtre comme le ciment, mais on le fait parfois en utilisant des *armatures galvanisées*.

L'intérêt du plâtre, c'est qu'il permet d'économiser le ciment, qui exige beaucoup plus de charbon pour sa fabrication ; il est non seulement plus avantageux à ce titre, mais les cloisons de plâtre, ainsi que les enduits, sont un excellent isolant thermique très ignifuge et insonore.

En raison de sa solubilité, le plâtre ne peut être utilisé pour les extérieurs, ainsi que nous l'avons dit, sauf s'il est revêtu d'un enduit imperméable.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners. The text is centered within this border.

CHAPITRE 3 :
NOTIONS DE THERMIQUE

1. LES PROPRIETES THERMIQUES DES MATERIAUX

La chaleur est la principale forme d'énergie dans la nature ;

« Aucun sujet n'a des rapports plus étendus avec les progrès de l'industrie et ceux des sciences naturelles ; car l'action de la chaleur est toujours présente, elle pénètre tous les corps et les espaces, elle influe sur les procédés des arts, et concourt à tous les phénomènes de l'univers » : Joseph Fourier, « Théorie analytique de la chaleur », 1822 [16]. Les propriétés thermiques regroupent les paramètres caractérisant le comportement des matériaux vis-à-vis cette énergie. Il existe des lois physiques régissant ce comportement et qui sont appelées les équations de la chaleur [20].

2. QUELQUES DEFINITIONS DE THERMIQUE [20], [21]

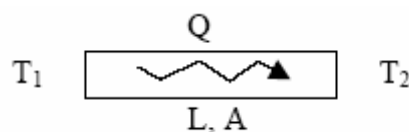
2.1 La température [20].

La température est la traduction à l'échelle macroscopique d'un état énergétique de la matière à l'échelle microscopique et on distingue :

- Pour les solides : c'est l'état de vibration des atomes à l'intérieur d'un réseau cristallin ou de mouvement d'électrons pour les matériaux qui ont la faculté d'échanger des électrons
- Pour les fluides : c'est l'état d'agitation des molécules

2.2 La conduction

C'est le mode de transfert lent de la chaleur dans un solide ou encore dans un liquide (ou d'un gaz). Un exemple : propagation de la chaleur dans une paroi entre un intérieur d'un bâtiment chauffé et l'extérieur. Un autre exemple simple est celui d'un barreau de longueur L et de section A dont on chauffe une extrémité à une température T_1 supérieure au reste du barreau qui est à température T_2 .



Naturellement, la température va s'homogénéiser par l'apparition d'un flux de chaleur Q de la zone chaude vers la zone froide. L'équation du flux de chaleur constitue la **première équation de la chaleur** :

$$Q = k A \frac{T_1 - T_2}{L}$$

Le paramètre de proportionnalité k est la **conductivité** thermique du matériau qui s'exprime en $W/m.K$. Cette propriété thermique représente la vitesse à laquelle la température s'uniformise dans le barreau. On peut classer les matériaux en deux grandes catégories vis-à-vis de la conduction de chaleur : les conducteurs et les isolants. La plupart des métaux (acier, cuivre, aluminium, or, argent, ...) sont des conducteurs. A l'inverse, les matériaux céramiques (brique, verre, porcelaine, ...) sont généralement isolants et leurs propriétés sont utilisées pour empêcher les déperditions d'énergie : isolation des maisons ou des systèmes de production d'énergie (par exemple dans les grosses chaudières ou les fours industriels, ...).

- Notions de la conductivité thermique des matériaux :

La transmission de la chaleur dans toutes les constructions se produit notamment au niveau des murs et de la toiture. Le flux thermique dépend de la masse volumique et de la porosité, ouverte ou fermée du matériau. La conductivité thermique est d'autant plus faible que la porosité est importante et la masse volumique est peu élevée, donc plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau transmet la chaleur et s'est ainsi un mauvais isolant.

On va citer quelques définitions de la conductivité thermique :

- * La conductivité thermique est la vitesse d'écoulement de la chaleur (flux thermique) dans des conditions bien définies, rapporté à l'unité de surface (soit le m^2), traversant un corps de 1m d'épaisseur par unité de variation de température dans une direction perpendiculaire à la surface [3].
- * La conductivité est la propriété physique intrinsèque des matériaux. Pour les matériaux du bâtiment, la détermination de λ est complexe car elle dépend :
 - Du matériau : exemple ordres de grandeur de conductivité thermique pour divers types de milieux
 - De son passé : exemple conductivité du PVC est liée à son passé
 - De la température : exemples mousse de polyuréthane et béton
 - De sa densité : exemples liège et polystyrène
 - De l'humidité : exemple influence de l'humidité sur les matériaux minéraux (brique, béton).

Le tableau N° 4.1 donne quelques valeurs de la conductivité thermique (λ) pour différents matériaux :

MATERIAUX	W/m.K	OBSERVATIONS
BITUME	0.17	23°C
PIERRE	4.7	23°C
TERE (sol), sèche	0.4	23°C
SABLE	0.55 à 1.85	23°C
BETON	1.5 à 2	23°C
BETON CELLULAIRE AUTOCLAVE	0.1 à 0.3	
VERRE	1	23°C

Tableau.3.1 : Valeurs moyennes de conductivité thermique de différents types de matériaux ou produits [22].

2.3 La convection

C'est le mode de transfert de chaleur par un fluide. On distingue deux types de convection :

- La convection forcée : le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe. Exemple : refroidissement d'un bâtiment sous l'effet du vent.
- La convection naturelle : le mouvement du fluide est engendré par les variations des densités causées par les variations de la température. Exemple : mouvement de la vapeur au dessus d'une tasse de café, principe du convecteur.

3.4 Le rayonnement

Ce mode de transfert n'utilise aucun milieu matériel. C'est de cette façon que la chaleur émise par le soleil arrive jusqu'à nous à travers le vide spatial. Il s'agit de l'émission d'un rayonnement de longueur d'onde variable, qui peut parfois se marquer dans le visible. Exemple : réchauffement d'un mur par le rayonnement solaire le jour, et chaleur émise par le mur la nuit [21].

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the chapter title.

CHAPITRE 4 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

1. MATERIAUX UTILISES

1.1 Granulats

Dans le cadre de notre étude, on a jugé important d'utiliser un mélange avec proportion différents de trois types de sable recyclé, de débris de terre cuite (brique), plâtre et mortier de ciment.

Les granulats recyclés sont obtenus par concassage, de débris de briques de terre cuite, plâtre et mortier de ciment. Le concassage a été réalisé au moyen d'un concasseur à cylindre, et d'un concasseur à mâchoires. Après concassage, les granulats ont été criblés à fin d'obtenir une fraction granulaire, qui est de 0/3.

Par la suite, les différents granulats utilisés sont désignés par :

S_{Naturel} : sable naturel de mer (0/2,5)

$S_{\text{mortier de ciment}}$: Sable recyclé issu du concassage de mortier de ciment (0/3)

S_{Brique} : Sable recyclé issu du concassage de brique (0/3)

$S_{\text{Plâtre}}$: Sable a base de plâtre recyclé (0/3)

1.2 Ciment [23]

Le ciment utilisé, est un ciment de portland CPJ CEM II/A 32,5, il est livré par la SOCIETE DES CIMENTS DE LA MITIDJA (MEFTAH-BLIDA), dans des sacs de 50 kg , dont ces caractéristiques sont les suivantes:

1.2.1 Définition

Le ciment Portland composé CPJ CEM II A 32.5 résulte de la mouture : D'au moins 80% de CLINKER PORTLAND, du complément à 100% d'un ou plusieurs constituants secondaire : (Laitier, filer calcaire,...).

De sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

1.2.2. Analyse chimique

Le tableau suivant montre l'analyse chimique du ciment étudié :

Eléments	Teneur (%)	Exigences (NA 2185) éq à la norme NF P15 301
SiO ₂	21.01	*
CaO	63.89	*
MgO	1.10	< 5.0
Fe ₂ O ₃	3.07	*
Al ₂ O ₃	5.40	*
SO ₃	2.42	< 4.0
P.F	1.46	*
CaO libre	0.23	*
R.lns	1.15	*
Cl ⁻	0.013	< 0.05
Na ₂ O	0.25	*
K ₂ O	0.765	*

* Non normalisé.

Tableau.4.1 : Analyse chimique du ciment

1.2.3 Essais physico-mécaniques

Le tableau suivant montre l'analyse physico-mécaniques du ciment étudié :

Eléments		Résultats	Exigences (N.A 442/2000) éq à la norme NF P15 301
Densité	g/l	913	*
S.S.B.	cm ² /g	3043	*
C.N	%	28.06	*
Prise h, mn	Début	1h49	> 1h30
	Fin	3h37	< 10h00
EXP	Mm	0.69	< 10mm
Résistance à la flexion (Mpa)	02 jours	5.10	*
	07 jours	7.33	*
	28 jours	8.25	*
Résistance à la compression (Mpa)	02 jours	22.42	> 10
	07 jours	43.62	*
	28 jours	58.10	CPJ-CEM II/A 32.5

* Non normalisé.

Tableau.4.2 : Analyse physico-mécaniques du ciment

1.3 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage, est une eau ordinaire de robinet sans traitement supplémentaire

2. CONFECTION DU MORTIER

Les composants nécessaires à la confection du mortier sont bien malaxés, jusqu'à obtention d'une pâte bien homogène. Ensuite, le mortier ainsi préparé est versé dans des moules de 4x4x16 cm (destinés aux essais mécaniques) .et dans des moules 8x4x16 (destinés aux essais thermiques) On fait alors subir à ces éprouvettes une série de vibration sur la table à chocs. Puis la surface du mortier est nivelée au ras 'des bords avec une règle métallique plate. Afin d'éviter l'évaporation de l'eau de gâchage, les éprouvettes sont alors couvertes avec un film plastique. Après démoulage des éprouvettes à 24 heures, la conservation se fait soit dans l'eau, soit à l'air en armoire de conservation à la température de $20^{\circ}\text{c} \pm 1^{\circ}\text{c}$ avec une humidité relative de $65\% \pm 5\%$ jusqu'au jour de l'essai.



CHAPITRE 5:
LES ESSAIS REALISES

1. PROCEDURES D'ESSAIS SUR MORTIER

Equipements

Le matériel que nous avons utilisé pour effectuer les essais d'identification de nos matériaux est le suivant :

- **Malaxeur** : Le mortier a été préparé dans un malaxeur de 5 litres. Il comporte une palette arrivée d'un mouvement planétaire susceptible de fonctionner à deux vitesses : -une vitesse lente d'environ 140 tr/mn
- une vitesse rapide double de la précédente, d'environ 280 tr/mn
- **L'entonnoir** : un récipient de mesure en plastique ou en acier pour mesurer la masse volumique apparente d'un échantillon. Il permet de déterminer la masse volumique apparente d'un granulat.
- **Tamiseuse électrique à choc** : combinaison d'un mouvement de rotation planétaire et de chocs.
- **Série de tamis d'analyse granulométrique en inox** : 0.08, 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5mm.
- **Appareillage d'équivalent de sable** : pour essai de propreté, il contient : éprouvettes transparentes graduées, piston, piston taré, spatule, règle, goupillon.
- **Pycnomètre en verre** : pour la détermination d la masse volumique réelle d'un granulat, ainsi l'absorption d'eau. Il est composé d'un erlenmeyer à col rodé et d'un tube capillaire.
- **Moules** : un moule en acier rectifié de trois alvéoles 4x4x16 cm pour essai de compression et de traction par flexion : selon NF EN 196-1 [24].
- **Maniabilimètre à mortier** : selon NF P 18-452, NF EN 413-2 : Cet appareil consiste à apprécier la consistance du mortier qui est caractérisée par le temps que mer le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide.
- **Appareil de flexion** : Il permet d'effectuer l'essai de la résistance à la traction par flexion, en plaçant l'éprouvette symétriquement sur deux mâchoires, qui servent d'appuis et une troisième est destinée à appliquer un moment fléchissant à mi-longueur.
- **Presse hydraulique** : Elle permet d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN avec une vitesse de mise en charge de $2400 \text{ N/s} \pm 200$.

2. LES ESSAIS D'IDENTIFICATION DU MATERIAU [27]

En vue de leur utilisation dans la confection des mortiers et des blocs de maçonnerie, les sables doivent être soumis à des essais au laboratoire qui sont : l'analyse granulométrique, module de finesse, absorption d'eau, compacité et porosité, équivalent de sable.

2.1 Analyse granulométrique

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique). L'essai est effectué conformément à la norme française P 18-560 [24].

2.2 Module de finesse

C'est un coefficient servant à caractériser la grosseur d'un sable pour béton. Un sable grossier est représenté par un coefficient élevé ($2.8 < M_f < 3.2$), un sable fin par un coefficient plus faible ($1.8 < M_f < 2.2$) et un sable moyen par ($2.2 < M_f < 2.8$) qui est préférentielle pour la confection des bétons. Ce module est défini comme étant égal au centième de la somme des refus cumulés aux tamis : 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5 mm. C'est une caractéristique intéressante car, elle permet le calcul rapide de la correction d'un sable mais reste, à elle seule, insuffisante pour apprécier la qualité globale d'un sable à béton. Elle constitue cependant, parmi d'autres, une indication très précieuse à condition de la rattacher à un tracé granulométrique.[3]

2.3 Masses volumiques

La mesure des masses volumiques réelles des deux sables a été effectuée conformément à la norme française P 18-555 [25]. La mesure de la masse volumique apparente des deux sables a été déterminée selon la méthode de l'entonnoir. Les masses volumiques des deux sables ont été effectuées par la méthode de la mesure au pycnomètre.

2.4 Absorption d'eau

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 20 °C à la pression atmosphérique, L'essai est effectué conformément à la norme française P 18-555 [25].

2.5 Compacité et porosité

La porosité est définie comme le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon. La compacité est le volume plein du matériau sur le volume apparent. On peut dire que la porosité représente le complément à l'unité de la compacité.

2.6 Equivalent de sable

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

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée. L'essai est effectué conformément à la norme française P 18-560 [24].

3. CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE MORTIER A BAS DE BRIQUE, PLATRE, ET MORTIER DE CIMENT

Pour ces caractéristiques, nous nous sommes intéressés à l'utilisation des différents sables recyclés à base de brique, plâtre, et mortier de ciment concassés, pour la confection de mortiers à différents dosages de brique (60,70, et 80%), pour chaque dosage en brique nous avons réalisé cinq dosages en plâtre de 0 à 2 par pas de 0,5 en pourcentage. De nombreux essais ont été effectués, sur :

- Les propriétés rhéologiques.
- Les résistances à la compression et à la traction par flexion après cure dans l'eau à 7 et 28 jours.
- La masse volumique aux diverses échéances.
- Les propriétés physiques, telles que l'absorption d'eau par capillarité.

3.1 Essais de maniabilité

Le degré d'ouvrabilité s'il existait toutefois un moyen de le spécifier et de le mesurer serait fonction de l'habileté du maçon, de la maniabilité du mortier et de plusieurs propriétés du support telles que l'absorption d'eau par le support, l'état de surface, etc... La méthode utilisée par le maçon pour juger l'ouvrabilité est basée sur sa façon personnelle de travailler et sa formation selon les traditions. La méthode LCPC que nous avons retenue consiste à mesurer le temps mis par un mortier initialement placé dans le grand compartiment du maniabilimètre pour s'écouler sous vibration et atteindre un repère horizontal fixe, gravé sur une paroi du second compartiment. Le temps écoulé entre le déclenchement de la vibration par soulèvement de la cloison amovible et l'affleurement du mortier au trait repère représente le résultat de la mesure.

3.2 Essai de résistance à la traction par flexion

L'essai permet de déterminer la contrainte de traction d'un mortier. Il est mené conformément à la norme européenne EN 196-1 [26]. Cet essai est réalisé sur l'appareil de flexion en plaçant l'éprouvette 4 x 4 x 16 cm symétriquement sur deux mâchoires. Ces dernières servent d'appuis et une troisième est destinée à appliquer un moment fléchissant à mi-longueur. L'essai est répété sur trois éprouvettes identiques afin de trouver la résistance

moyenne en traction par flexion R_t . La résistance à la rupture en traction par flexion est donnée au moyen de la formule suivante :

$$R_t = 1.5 \times F_t \times \frac{L}{b^3} \quad (\text{N/mm}^2)$$

L : Distance entre axe des rouleaux d'appui de l'éprouvette (4 x 4 x 16 cm) en mm t.q : (L = 100mm).

R_t : Résistance à la traction en MPa.

F_t : Charge à la rupture en N.

b : Largeur de la section carrée du prisme en mm (b = 40 mm).

3.3 Essai de résistance à la compression

L'essai consiste à comprimer jusqu'à écrasement un échantillon du matériau étudié. Il est mené conformément à la norme EN 196-1 [26]. Il s'effectue à la suite de l'essai de traction par flexion et porte par conséquent sur les deux morceaux obtenus après rupture d'une éprouvette. Cet essai est réalisé sur une presse hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN avec une vitesse de mise en charge de $2400 \text{ N/s} \pm 200 \text{ N/s}$. L'échantillon est placé au milieu du plateau de la presse. La surface de contact entre l'éprouvette et le plateau de compression est de 16 cm^2 (4x4 cm). L'augmentation de la charge se fait automatiquement et la force de rupture est indiquée en KN par une aiguille supplémentaire qu'on doit remettre à zéro après chaque essai. La résistance à la compression est donnée par la relation suivante :

$$R_c = F_c / 1600 \quad (\text{N/mm}^2)$$

R_c : Résistance à la compression (MPa).

F_c : La charge maximale à la rupture (en Newtons).

La figure 5.1 montre le dispositif de l'écrasement à la compression :

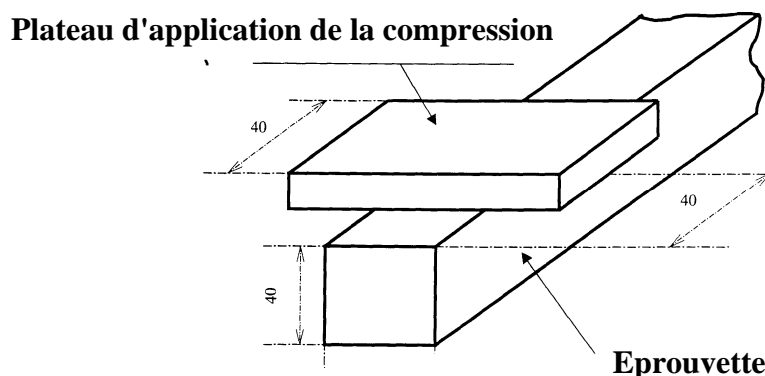


Fig 5.1 Dispositif de l'écrasement à la compression

3.4 Essai D'absorption capillaire

La capacité d'absorption d'eau d'un mortier donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides et donc des pores. C'est aussi une manière comme une autre de mettre en évidence la compacité du mortier durci. L'essai d'absorption capillaire est réalisé conformément à la norme EN 480-5 [28]. Cet essai a été effectué sur des éprouvettes de mortier de section $4 \times 4 \text{ cm}^2$ et de longueur 16 cm, préalablement séchées à l'étuve jusqu'à masse constante. Les éprouvettes ont été ensuite posées selon leur section transversale en contact avec l'eau dans un bac où la profondeur d'immersion a été maintenue constante et égale à 5 mm comme le montre la figure 5.2.

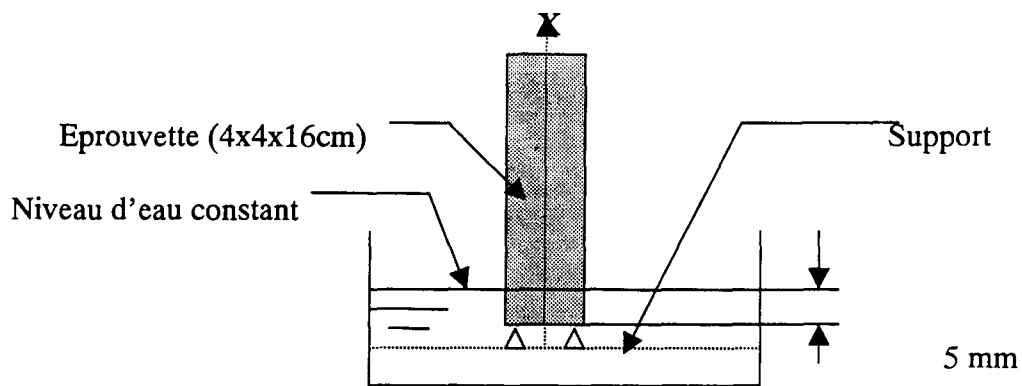


Fig 5.2 Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire

Chaque 10 mn, l'éprouvette a été sortie du récipient, essuyée légèrement puis pesée et replacée dans le récipient. Pour une échéance donnée, l'absorption capillaire est exprimée en grammes par millimètre carré, par la formule :

$$CA = (M_j - M_0) / S$$

M_0 : la masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en grammes.

M_j : la masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes.

S : la surface de la base de l'éprouvette où S est égale à 1600 cm^2 .

L'absorption capillaire sera la moyenne des absorptions CA obtenues sur 3 éprouvettes identiques de mortier.



**CHAPITRE 6 :
RESULTATS ET
INTERPRETATION**

1. ESSAIS D'IDENTIFICATION

1.1 Sable recyclé à base de 60 %brique+plâtre+mortier de ciment ($S_{60/P}$)

Afin de déterminer l'effet de la présence du plâtre dans un sable issu de la démolition d'un mur en brique simple cloisons ayant une couche de mortier et une couche de plâtre décapée, nous avons reconstitué un mélange équivalent avec 60% de brique de 0 à 2% de plâtre avec un pas de 0,5%, et de mortier, le tout concassé. Ce sable de recyclage est désigné par l'abréviation $S_{60/P}$.

1.1.1 Analyse granulométrique par tamisage

Les courbes granulométriques correspondant aux différents dosages de sable recyclé sont représentées dans la figure suivante :

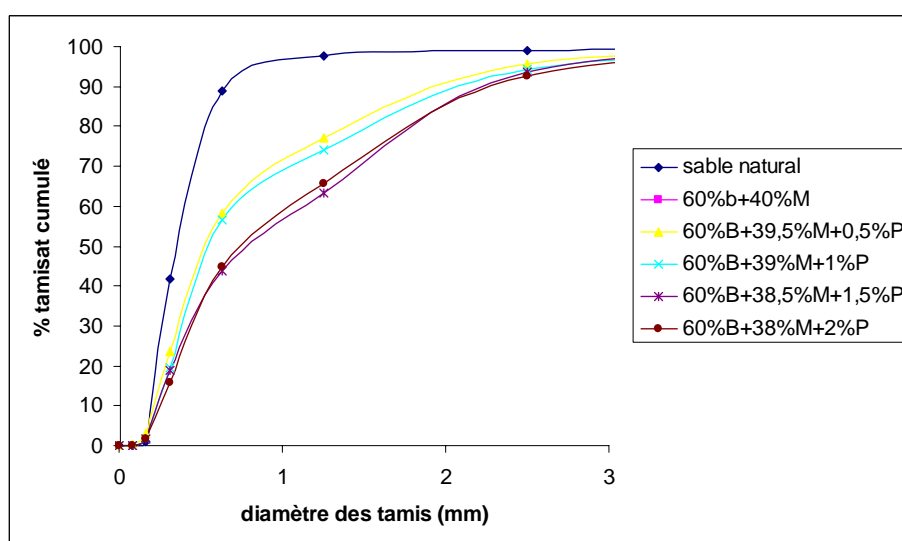


Fig. 6.1: Distribution granulométrique S_N , et $S_{60/P}$.

Commentaire :

Les courbes granulométriques montrent clairement que les sables (naturel et recyclés) ont des granulométries différentes. Le sable naturel contient un grand pourcentage (96,6%) des grains de diamètre compris entre 0.16 et 0.63 mm. Par contre les sables recyclés sont des bons sables pour béton et leurs courbes granulométriques sont continues. Néanmoins, le sable naturel contient un pourcentage d'éléments fins de diamètre inférieur ou égale à 0.16 mm égale à 1% qui est moins élevé à celui des sables recyclés (1.5%-11%). Ceci est dû principalement à l'effet du concassage des déchets (brique, mortier, et plâtre). De plus on remarque que les courbes granulométriques des sables recyclés sont presque identiques vu le pourcentage faible de plâtre.

1.1.2 Module de finesse

Echantillon		Module de finesse	Observation
Sable naturel		1,71	$1,8 < M_f < 2,2 \rightarrow$ sable est fin
Sable recyclé	60%B+40%M	2,23	2.2 < M_f < 2.8 bon sable à béton
	60%B+39,5%M+0,5%P	2,42	
	60%B+39%M+1%P	2,54	
	60%B+38,5%M+1,5%P	2,78	
	60%B+38%M+2%P	2,78	

Tableau .6.1 : Module de finesse S_N , et $S_{60/P}$.Commentaire :

On remarque que les deux types de sable utilisé, sont acceptables pour la confection d'un béton hydraulique et mortiers, sauf que le sable recyclé est plus grossier que le sable naturel. Ceci est confirmé par d'autres chercheurs [2],[13] .

1.1.3 Masses volumiques

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 6.2

Echantillon		Masse volumique apparente t/m ³	Masse volumique réel t/m ³	Masse volumique absolue t/m ³
Sable naturel		1,45	2,50	2,65
Sable recyclé	60%B+40%M	1,17	2,21	2,26
	60%B+39,5%M+0,5%P	1,17	2,22	2,25
	60%B+39%M+1%P	1,18	2,22	2,25
	60%B+38,5%M+1,5%P	1,18	2,22	2,24
	60%B+38%M+2%P	1,18	2,22	2,23

Tableau. 6.2 : Masse volumique des deux sables S_N , et $S_{60/P}$.Commentaire :

D'après les résultats obtenus on constate que les masses volumiques des sables recyclés sont plus faibles que celles du sable naturel de 18 à 19%. Cette chute de masse volumique du sable de mortier concassé est due au fait que les granulats recyclés sont constitués d'un agglomérat de granulats naturel et d'une matrice à base de ciment. Cette dernière est d'une densité relativement faible d'où la légèreté du granulats recyclé.

On remarque aussi qu'avec une masse volumique apparente de (1,17 à 1,18) t/m³ le sable recyclé s'avère moins lourd de près de 1/6. La relative faiblesse de l'écart existant entre les masses volumiques absolues des deux types de sables, permet de dire que cette légèreté est due principalement à la porosité des grains du sable recyclé ainsi qu'au fait que ce sable est plutôt plus grossier que sable naturel.

1.1.4 Absorption d'eau

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau 6.3

Type du sable		Coefficient d'absorption d'eau %
Sable naturel		0,17
Sable recyclé	60B+4%M	6,01
	60B+39,5%M+0,5%P	6,09
	60B+39+1%P	6,11
	60B+38,5%M+1,5%P	6,16
	60B+ 38M+2%P	6,20

Tableau 6.3 : Coefficient d'absorption d'eau des deux sables S_N , et $S_{60/P}$.

Commentaire :

On remarque, que les sables recyclés absorbent beaucoup plus d'eau que le sable naturel, car le coefficient d'absorption d'eau des sables recyclés est de près 36 fois supérieur à celui d'un sable naturel. A titre de comparaison Melle Bedjou[3] avait trouvé un coefficient de 5,8 pour le sable de briques concassées, et M BOUZIDI [13] avait trouvé aussi un coefficient de 4,25 pour le sable de mortier concassé. Ceci montre la grande porosité des grains du brique, du mortier de ciment, et du plâtre concassés, et donc les sable recyclés s'avèreront hydrophiles. On peut donc présager qu'il faudra de grosses quantités d'eau pour confectionner des bétons et mortiers à base de sable de recyclage.

1.1.5 Compacité et porosité

Le tableau 6.4 donne les résultats trouvés pour les deux sables.

Type du sable		Compacité %	Porosité %
Sable naturel		58	42
Sable recyclé	60%B+40%M	52	48
	60%B+39,5%M+0,5%P	52	48
	60%B+39%M+1%P	53	47
	60%B+38,5%M+1,5%P	53	47
	60%B+38%M+2%P	53	47

Tableau 6.4 : Compacité et porosité des deux sables S_N , et $S_{60/P}$.

Commentaire :

On remarque une diminution de la compacité des sables recyclés par rapport au sable naturel et qui est de l'ordre de 8,6% à 10,3%. Les sables recyclés sont peu compacts et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel. Ceci confirme nos commentaires relatifs au coefficient d'absorption d'eau.

1.1.6 Equivalent sable

Le tableau 6.5 regroupe les résultats trouvés pour les deux sables.

Echantillon		Equivalent de sable	Critère de la norme
Sable naturel		96,45	≥70 (65 et 60 pour les sables concassés et broyés)
Sable recyclé	60%B+40%M	88,69	
	60%B+39,5%M+0,5%P	89,66	
	60%B+39%M+1%P	89,67	
	60%B+38,5%M+1,5%P	89,99	
	60%B+38%M+2%P	86,46	

Tableau 6.5 : Equivalent sable des deux sables S_N , et $S_{60/P}$.

Commentaire :

D'après le tableau 6.5 les deux types de sable sont propres car leur équivalent de sable est conforme à la limite donnée par la norme NF P 18-5'98.

1.2 Sable recyclé à base de 70 %brique+plâtre+mortier de ciment ($S_{70B/P}$),

Afin de déterminer l'effet de la présence du plâtre dans un sable issu de la démolition d'un mur en brique double cloisons ayant une couche de mortier et une couche de plâtre décapée, nous avons reconstitué un mélange équivalent avec 70% de brique de 0 à 2% de plâtre avec un pas de 0,5%, et de mortier, le tout concassé. Ce sable de recyclage est désigné par l'abréviation $S_{70/P}$.

1.2.1 Analyse granulométrique par tamisage

Les courbes granulométriques correspondant aux différents dosages de sable recyclé (Sable recyclé à base de brique+plâtre+mortier de ciment) sont représentées dans la figure suivante :

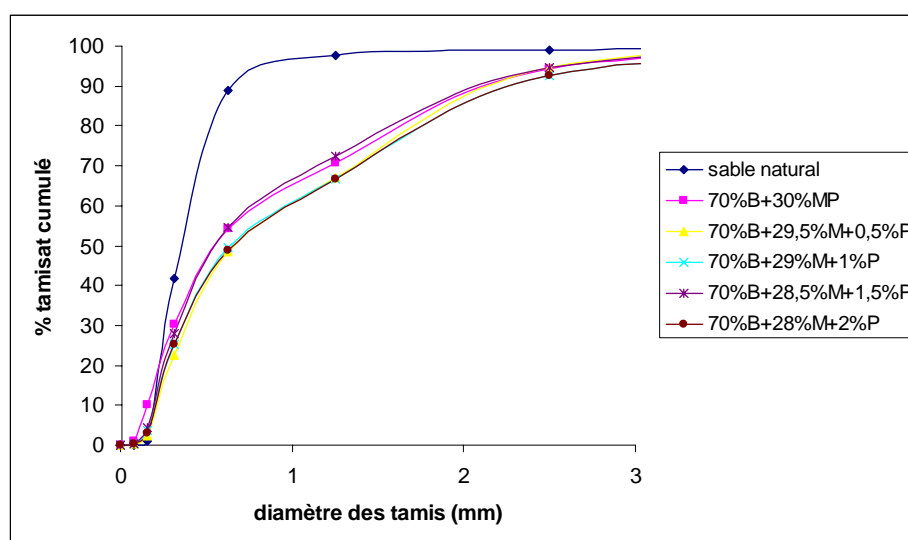


Fig 6. 2 : Distribution granulométrique S_N , et $S_{70/P}$.

Commentaire :

Les courbes granulométriques montrent clairement que les sables (naturel et recyclés) ont des granulométries différentes. Le sable naturel contient un grand pourcentage (96,6%) des grains de diamètre compris entre 0.16 et 0.63 mm. Par contre les sables recyclés sont des bons sables pour béton et leurs courbes granulométriques sont continues. Néanmoins, le sable naturel contient un pourcentage d'éléments fins de diamètre inférieur ou égale à 0.16 mm égale à 1% qui est moins élevé à celui des sables recyclés (1%-10%). Ceci est dû principalement à l'effet du concassage des déchets (brique, mortier, et plâtre). De plus on remarque que les courbes granulométriques des sables recyclés sont presque identiques vu le pourcentage faible de plâtre.

1.2.2 Module de finesse :

Echantillon		Module de finesse	Observation
Sable naturel		1,71	$1,8 < M_f < 2,2 \rightarrow$ sable est fin
Sable recyclé	70%B+30%M	2,4	2.2 < M_f < 2.8 bon sable à béton
	70%B+29,5%M+0,5%P	2,65	
	70%B+29%M+1%P	2,62	
	70%B+28,5%M+1,5%P	2,46	
	70%B+28%M+2%P	2,63	

Tableau 6.6 : Module de finesse S_N , et $S_{70/P}$.Commentaire :

On remarque que les deux types de sable utilisé, sont acceptables pour la confection d'un béton hydraulique et mortiers, sauf que le sable recyclé est plus grossier que le sable naturel. Ceci est confirmé par d'autres chercheurs [2],[13] .

1.2.3 Masses volumiques :

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 6.7

Echantillon		Masse volumique apparente t/m ³	Masse volumique réel t/m ³	Masse volumique absolue t/m ³
Sable naturel		1,45	2,50	2,65
Sable recyclé	70%B+30%M	1,21	2,22	2,25
	70%B+29,5%M+0,5%P	1,20	2,22	2,24
	70%B+29%M+1%P	1,20	2,22	2,24
	70%B+28,5%M+1,5%P	1,20	2,22	2,23
	70%B+28%M+2%P	1,20	2,22	2,22

Tableau 6.7 : Masse volumique des deux sables S_N , et $S_{70/P}$.Commentaire :

D'après les résultats obtenus on constate que les masses volumiques des sables recyclés sont plus faibles que celles du sable naturel de 16 à 17%. Cette chute de masse volumique du sable de mortier concassé est due au fait que les granulats recyclés sont constitués d'un aggloméré de granulats naturel et d'une matrice à base de ciment. Cette dernière est d'une densité relativement faible d'où la légèreté du granulats recyclé.

On remarque aussi qu'avec une masse volumique apparente de (1,20 à 1,21) t/m³ le sable recyclé s'avère moins lourd de près de 1/6. La relative faiblesse de l'écart existant entre les masses volumiques absolues des deux types de sables, permet de dire que cette légèreté est due principalement à la porosité des grains du sable recyclé ainsi qu'au fait que ce sable est plutôt plus grossier que sable naturel

1.2.4 Absorption d'eau

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau 6.8

Type du sable		Coefficient d'absorption d'eau %
Sable naturel		0,17
Sable recyclé	70%B+20%M	6,12
	70%B+29,5%M+0,5%P	6,23
	70%B+29%M+1%P	6,34
	70%B+28,5%M+1,5%P	6,45
	70%B+28%M+2%P	6,50

Tableau 6.8 : Coefficient d'absorption d'eau des deux sables S_N , et $S_{70/P}$.

Commentaire :

On remarque, que les sables recyclés absorbent beaucoup plus d'eau que le sable naturel, car le coefficient d'absorption d'eau des sables recyclés est de près 36 fois supérieur à celui d'un sable naturel. A titre de comparaison Melle Bedjou [3] avait trouvée un coefficient de 5,8 pour le sable de briques concassées, et Mr BOUZIDI [13] avait trouvé aussi un coefficient de 4,25 pour le sable de mortier concassées. Ceci montre la grande porosité des grains du brique, du mortier de ciment, et du plâtre concassés, et dont les sable recyclés s'avèreront hydrophiles. On peut donc présager qu'il faudra de grosses quantités d'eau pour confectionner des bétons et mortiers à base de sable de recyclage.

1.2.5 Compacité et porosité

Le tableau 6.9 donne les résultats trouvés pour les deux sables.

Type du sable		Compacité %	Porosité %
Sable naturel		58	42
Sable recyclé	70%B+30%M	54	46
	70%B+29,5%M+0,5%P	54	46
	70%B+29%M+1%P	54	46
	70%B+28,5%M+1,5%P	54	46
	70%B+28%M+2%P	54	46

Tableau 6.9 : Compacité et porosité des deux sables S_N , et $S_{70/P}$.

Commentaire :

On remarque une diminution de la compacité des sables recyclés par rapport au sable naturel et qui est de l'ordre de 6,8%. Les sables recyclés sont peu compacts et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel. Ceci confirme nos commentaires relatifs au coefficient d'absorption d'eau

1.2.6 Equivalent sable

Le tableau 6.10 regroupe les résultats trouvés pour les deux sables.

Echantillon		Equivalent de sable	Critère de la norme
Sable naturel		96,45	≥70 (65 et 60 pour les sables concassés et broyés)
Sable recyclé	70%B+30%M	89,54	
	70%B+29,5%M+0,5%P	91,68	
	70%B+29%M+1%P	89,19	
	70%B+28,5%M+1,5%P	91,12	
	70%B+28%M+2%P	89,09	

Tableau 6.10 : Equivalent sable des deux sables S_N , et $S_{70/P}$.

Commentaire :

D'après le tableau 6.10 les deux sables sont propres car leur équivalent de sable est conforme à la limite donnée par la norme NF P 18-5'98.

1.3 Sable recyclé à base de 80%brique+plâtre+mortier de ciment ($S_{80B/P}$),

Afin de déterminer l'effet de la présence du plâtre dans un sable issu de la démolition d'un mur en brique double cloisons ayant deux couches de plâtre décapées, nous avons reconstitué un mélange équivalent avec 80% de brique de 0 à 2% de plâtre avec un pas de 0,5%, et de mortier, le tout concassé. Ce sable de recyclage est désigné par l'abréviation $S_{80/P}$.

1.3.1 Analyse granulométrique par tamisage

Les courbes granulométriques correspondant aux différents dosages de sable recyclé (Sable recyclé à base de brique+plâtre+mortier de ciment) sont représentées dans la figure suivante :

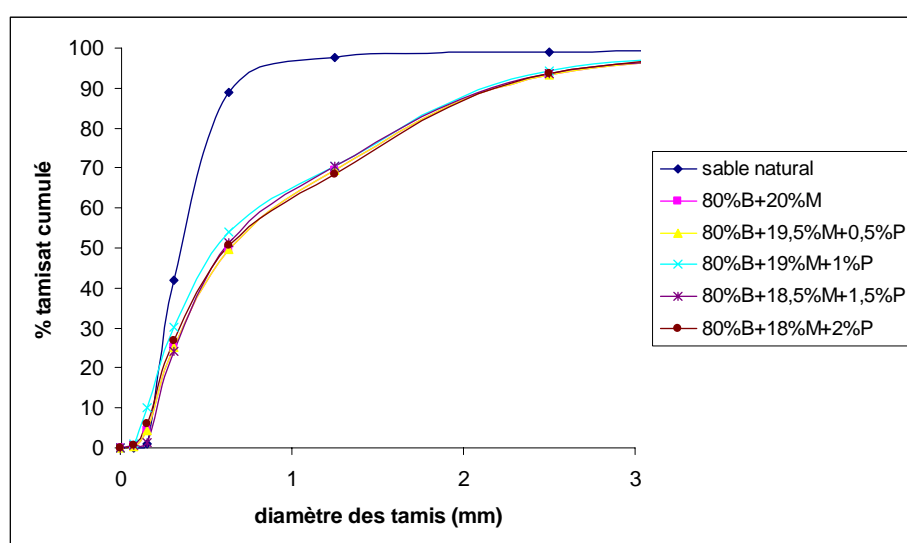


Fig 6. 3 : Distribution granulométrique S_N , et $S_{80/P}$.

Commentaire :

Les courbes granulométriques montrent clairement que les sables (naturel et recyclés) ont des granulométries différentes. Le sable naturel contient un grand pourcentage (96,6%) des grains de diamètre compris entre 0.16 et 0.63 mm. Par contre les sables recyclés sont des bons sables pour béton et leurs courbes granulométriques sont continues. Néanmoins, le sable naturel contient un pourcentage d'éléments fins de diamètre inférieur ou égale à 0.16 mm égale à 1% qui est moins élevé à celui des sables recyclés (1%-10%). Ceci est dû principalement à l'effet du concassage des déchets (brique, mortier, et plâtre). De plus on remarque que les courbes granulométriques des sables recyclés sont presque identiques vu le pourcentage faible de plâtre.

1.3.2 Module de finesse

Echantillon		Module de finesse	Observation
Sable naturel		1,71	1,8 < M _f < 2,2 → sable est fin
Sable recyclé	80%B+20%M	2,59	2.2 < M _f < 2.8 bon sable à béton
	80%B+19,5%M+0,5%P	2,57	
	80%B+19%M+1%P	2,41	
	80%B+18,5%M+1,5%P	2,59	
	80%B+18%M+2%P	2,54	

Tableau 6.11 : Module de finesse S_N, et S_{80/P}.Commentaire :

On remarque que les deux types de sable utilisé, sont acceptables pour la confection d'un béton hydraulique et mortiers, sauf que le sable recyclé est plus ou moins grossier que le sable naturel. Ceci est confirmé par d'autres chercheurs [2], [13].

1.3.3 Masses volumiques

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 6.11

Echantillon	Masse volumique apparente t/m ³	Masse volumique réel t/m ³	Masse volumique absolue t/m ³	
Sable naturel	1,45	2,50	2,65	
Sable recyclé	80%B+20%M	1,20	2,22	2,24
	80%B+19,5%M+0,5%P	1,19	2,22	2,24
	80%B+19%M+1%P	1,20	2,22	2,23
	80%B+18,5%M+1,5%P	1,19	2,22	2,22
	80%B+18%M+2%P	1,19	2,22	2,22

Tableau 6.12 : Masse volumique des deux sables S_N, et S_{80/P}.Commentaire :

D'après les résultats obtenus on constate que les masses volumiques des sables recyclés sont plus faibles que celles du sable naturel de 17 à 18%. Cette chute de masse volumique du sable de mortier concassé est due au fait que les granulats recyclés sont constitués d'un aggloméré de granulats naturel et d'une matrice à base de ciment. Cette dernière est d'une densité relativement faible d'où la légèreté du granulat recyclé.

On remarque aussi qu'avec une masse volumique apparente de (1,19 à 1,20) t/m³ le sable recyclé s'avère moins lourd de près de 1/6. La relative faiblesse de l'écart existant entre les masses volumiques absolues des deux types de sables, permet de dire que cette légèreté est due principalement à la porosité des grains du sable recyclé ainsi qu'au fait que ce sable est plutôt plus grossier que sable naturel

1.3.4 Absorption d'eau

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau 6.12

Type du sable		Coefficient d'absorption d'eau %
Sable naturel		0,17
Sable recyclé	80%B+20%M	6,28
	80%B+19,5%M+0,5%P	6,39
	80%B+19%M+1%P	6,45
	80%B+18,5%M+1,5%P	6,52
	80%B+18%M+2%P	6,61

Tableau 6.13 : Coefficient d'absorption d'eau des deux sables S_N , et $S_{80/P}$.

Commentaire :

On remarque, que les sables recyclés absorbent beaucoup plus d'eau que le sable naturel, car le coefficient d'absorption d'eau des sables recyclés est de près 36 fois supérieur à celui d'un sable naturel. A titre de comparaison Melle Bedjou[3] avait trouvée un coefficient de 5,8 pour le sable de briques concassées, et Mr BOUZIDI [13] avait trouvé aussi un coefficient de 4,25 pour le sable de mortier concassées. Ceci montre la grande porosité des grains du brique, du mortier de ciment, et du plâtre concassés, et dont les sable recyclés s'avèreront hydrophiles. On peut donc présager qu'il faudra de grosses quantités d'eau pour confectionner des bétons et mortiers à base de sable de recyclage.

1.3.5 Compacité et porosité

Le tableau 6.13 donne les résultats trouvés pour les deux sables.

Type du sable		Compacité %	Porosité %
Sable naturel		58	42
Sable recyclé	80%B+20%M	54	46
	80%B+19,5%M+0,5%P	53	47
	80%B+19%M+1%P	54	46
	80%B+18,5%M+1,5%P	53	47
	80%B+18%M+2%P	53	47

Tableau 6.14 : Compacité et porosité des deux sable S_N , et $S_{80/P}$.

Commentaire :

On remarque une diminution de la compacité des sables recyclés par rapport au sable naturel et qui est de l'ordre de 6,8% à 8,6%. Les sables recyclés sont peu compacts et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel. Ceci confirme nos commentaires relatifs au coefficient d'absorption d'eau.

1.3.6 Equivalent sable

Le tableau 6.14 regroupe les résultats trouvés pour les deux sables.

Echantillon		Equivalent de sable	Critère de la norme
Sable naturel		96,45	≥70 (65 et 60 pour les sables concassés et broyés)
Sable recyclé	80%B+20%M	91,87	
	80%B+19,5%M+0,5%P	92,51	
	80%B+19%M+1%P	93,03	
	80%B+18,5%M+1,5%P	95,24	
	80%B+18%M+2%P	93,71	

Tableau 6.15 : Equivalent sable des deux sables S_N , et $S_{80/P}$.

Commentaire :

D'après le tableau 6.14 les deux sables sont propres car leur équivalent de sable est conforme à la limite donnée par la norme NF P 18-5'98.

2. CARACTERISATION DES MORTIERS

Dans ce chapitre, nous avons étudié des mortiers confectionnés à partir des mélanges de débris de brique, mortier, et plâtre concassés.

Le choix des mélanges est fixé de façon à compléter les études menées par Mlle. Bedjou [3] et M. Bouzidi [13]. Dans notre travail, nous avons essayé de voir l'effet du plâtre et de la terre cuite pour plusieurs pourcentages de ces derniers. Les concentrations de ces deux matériaux ont été calculés pour être approximativement égales à celle obtenues lors de la démolition des murs de maçonnerie décapés de leurs enduits au plâtre (cf.1.1, 1.2 et 1.3) similaires à celles des sables issus de décapage et démolition des différentes types de murs.

2.1 Étude des éprouvettes mécanique des éprouvettes (4×4×16 cm)

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à l'étude d'un mortier confectionné à partir d'un mélange avec proportion différentes des trois types de sables recyclés, de débris de terre cuite (brique), plâtre ; et mortier de ciment. Les trois sables ont été utilisés secs sans prémouillage préalable.

Un ciment CPJ-CEM II A 32.5 de la SOCIETE DES CIMENTS DE LA MITIDJA (MEFTAH-BLIDA) a été utilisé pour confectionner des éprouvettes 4x4x16 cm de mortier. Un seul dosage en ciment a été fixé: 350 Kg/m³ de sable sec. Nous avons choisi un seul dosage en eau de telle sorte que l'on obtienne un rapport Eau/Ciment : **E/C=0.86**. Ce rapport correspond au rapport optimal pour un mortier de sable naturel (donne une résistance maximale à la compression) obtenu au cours d'une recherche expérimentale similaire qui a été faite par Mr. Bouzidi lors de son projet de fin d'étude [13].ce rapport permet de minimiser la consommation d'eau tout en ayant une maniabilité encore acceptable. Toute fois il est évident que de meilleures résistances peuvent être obtenue si l'on accepte de pendre du rapport E/C supérieurs. Néanmoins, notre mortier pourrait être amélioré tout du point de vue de la maniabilité que de la résistance mécanique grâce à l'utilisation de plastifiant ou super plastifiant. Ceci pourrait faire l'objet d'une ultérieure.

Quinze mélanges ont été préparés et 90 éprouvettes 4x4x16 cm ont été fabriqués afin de pouvoir effectuer les essais mécaniques après 7 jours et 28 jours aux diverses échéances. Nous avons fait varier la concentration en brique avec 60,70, et 80%, et pour chaque dosage en terre cuite nous avons pris cinq dosage de plâtre (0,0.5, 1,1.5, et 2%) en complétant avec du mortier de ciment. Toutes les éprouvettes ont été conservées dans l'eau jusqu'au jour de l'essai.

Le tableau suivant regroupe les résultats obtenus :

Sable recyclé		Maniabilité (s)	Masse volumique apparente (t/m ³)		Résistance à la traction (Mpa)		Résistance à la comprissions (Mpa)	
			7 j	28 j	7j	28j	7j	28j
% Brique	% Plâtre							
60	0	15,8	1,85	1,94	2,50	3,60	11,14	18,43
	0,5	21,03	1,73	1,93	2,45	3,17	9,40	15,97
	1	22,25	1,81	1,95	2,49	3,20	9,72	12,67
	1,5	20,45	1,87	1,97	2,56	3,40	10,14	14,98
	2	21,25	1,90	1,95	2,57	3,86	10,31	13,01
70	0	15,45	1,90	1,97	2,90	3,37	11,60	18,36
	0,5	19,41	1,92	1,98	1,96	3,10	8,80	16,22
	1	20,28	1,86	1,98	2,10	3,08	9,90	15,13
	1,5	18,85	1,87	1,91	2,12	3,18	7,91	14,86
	2	21,19	1,87	1,88	2,08	3,20	7,80	14,16
80	0	16,3	1,85	1,94	2,85	3,41	11,53	19,18
	0,5	15,98	1,85	1,95	1,94	3,33	7,09	14,37
	1	15,87	1,89	1,98	2,37	3,29	7,94	14,82
	1,5	21,53	1,89	1,94	2,17	4,47	7,75	17,80
	2	22,27	1,92	1,95	2,37	4,41	10,72	17,60
sable naturel		5,5	1,96	2,02	4,48	5,51	14,62	23,67

Tableau 6.16 : Résultat des différents essais réalisée

2.1.1. La masse volumique apparente du mortier

2.1.1.1 Evolution la masse volumique apparente dans le temps

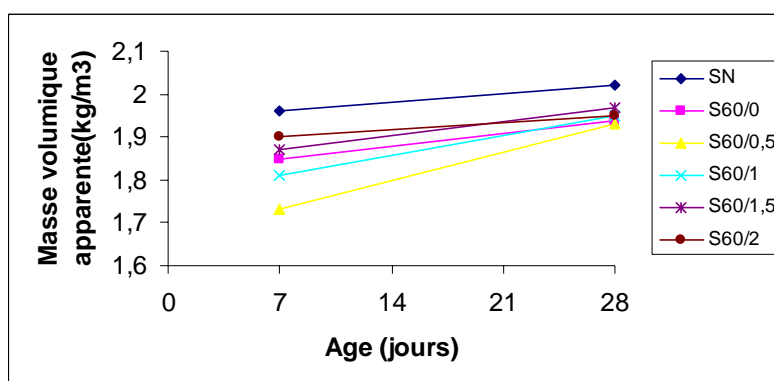


Fig. 6.4 : Evolution la masse volumique apparente dans le temps pour le sable de 60% brique

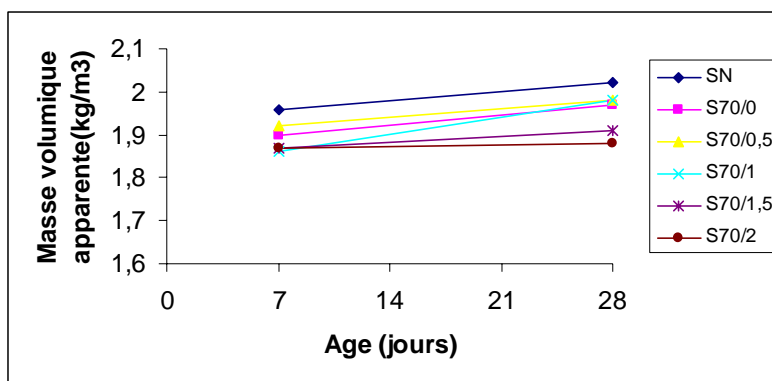


Fig. 6.5 : Evolution la masse volumique apparente dans le temps pour le sable de 70% brique

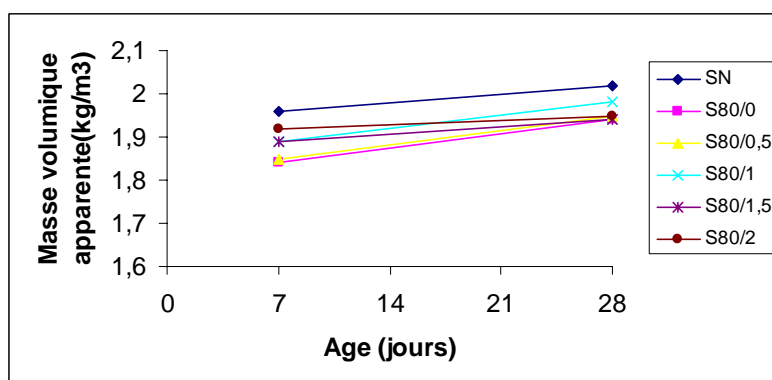


Fig. 6.6 : Evolution la masse volumique apparente dans le temps pour le sable de 80% brique

Commentaire :

On remarque que les masses volumiques sont plus légères des mortiers à bas de matériaux recyclés que celles d'un mortier ordinaire et qui augmentent légèrement dans le temps, cette augmentation est due à la grosseur des grains des sables recyclés ainsi est due à la porosité des mortiers obtenus qui sont conservés dans l'eau sous forme d'éprouvettes prismatiques, d'où cette teneur à continuer à absorber l'eau dans le temps.

De plus on remarque aussi que la variation de la concentration en plâtre, ou en brique n'a pas entraînée un changement sensiblement important de la masse volumique, et cela est due au faible variation de dosage de plâtre qui correspond à une variation de 0.5% à 9.8% pour un dosage en brique de 60%, et de 0.5% à 5.3% pour un dosage en brique de 70%, et de 0.5% à 3.8% pour un dosage en brique de 80%.

2.1.2. Résistance à la compression

2.1.2.1 Evolution de la Résistance à la compression dans le temps

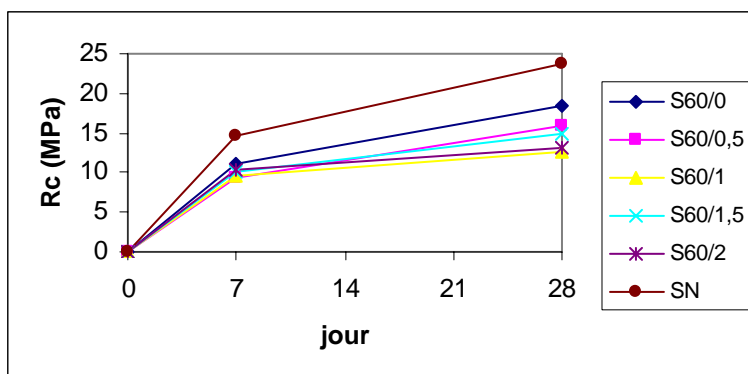


Fig. 6.7 : Evolution de la Résistance à la compression dans le temps pour le sable de 60% brique

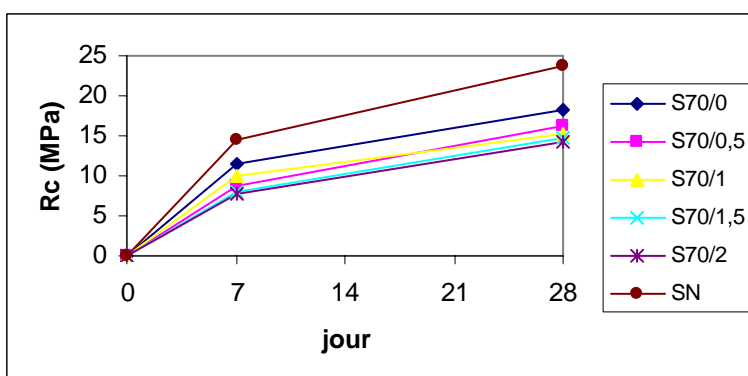


Fig. 6.8 : Evolution de la Résistance à la compression dans le temps pour le sable de 70% brique

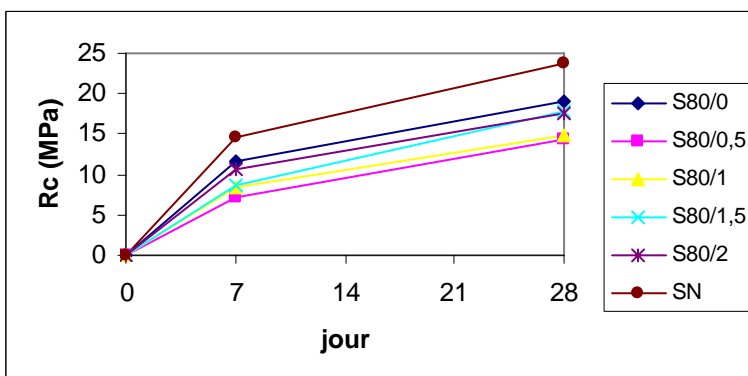


Fig. 6.9 : Evolution de la Résistance à la compression dans le temps pour le sable de 80% brique

Commentaire :

L'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour les différents mortiers, nous permet de déduire que la résistance à la compression évolue régulièrement dans le temps, et de manière assez importante même après 7 jours. Ceci pourrait s'expliquer par la perturbation de l'hydratation du ciment et donc au durcissement à cause de la succion d'eau due à la porosité du granulat recyclé. Ce qui implique que le durcissement continu avec un rythme important même après 7 jours car les éprouvettes sont conservées dans l'eau.

On remarque aussi que les résistances à la compression sont plus au moins faibles à 7 et à 28 jours par rapport au celle de mortier ordinaire, mais restent toujours acceptables. Cette chute est due à la présence du plâtre dans le mélange. Ce dernier en plus de son incompatibilité avec le ciment, a la capacité d'absorber énormément d'eau ce qui ralentit l'hydratation du ciment malgré le dosage de 350 kg/m³.

2.1.3 Résistance à la traction par flexion

2.1.3.1 Evolution de la Résistance à la traction par flexion dans le temps

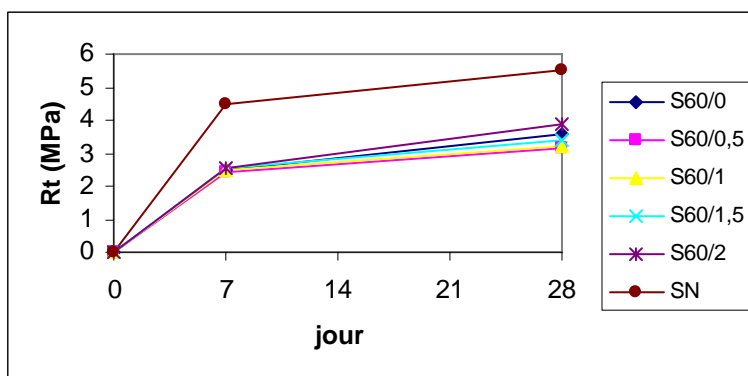


Fig. 6.10 : Evolution de la Résistance à la traction par flexion dans le temps pour le sable de 60% brique

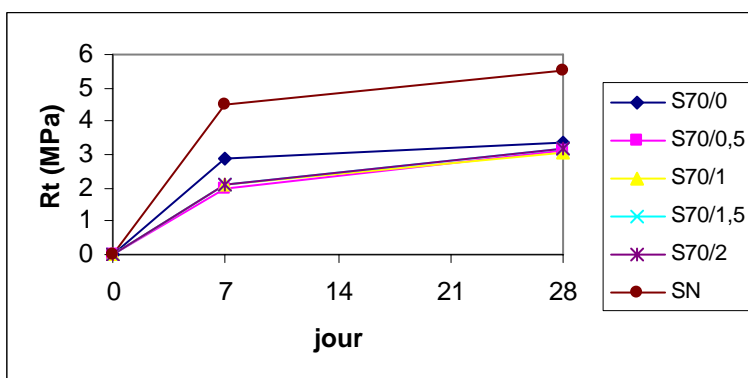


Fig. 6.11 : Evolution de la Résistance à la traction par flexion dans le temps pour le sable de 70% brique

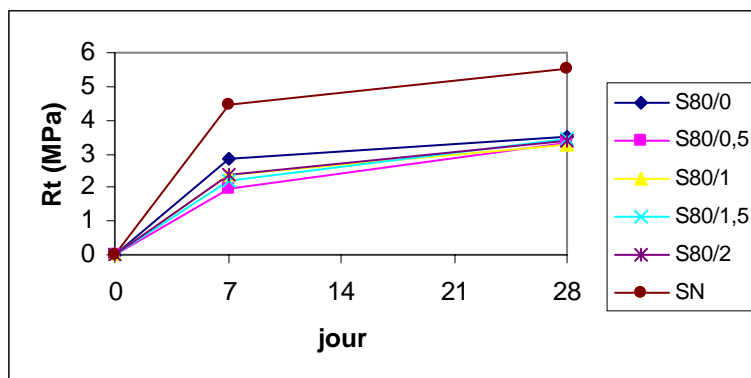


Fig. 6.12 : Evolution de la Résistance à la traction par flexion dans le temps pour le sable de 80% brique

Commentaire :

Pour tous les mortiers à base des sables recyclés ($S_{60/P}$, $S_{70/P}$, et $S_{80/P}$) à la traction tout comme à la compression, les résistances ont augmenté régulièrement dans le temps. On remarque que le taux d'évolution est assez important même après 7 jours. Ce phénomène peut s'expliquer de la même manière que pour la compression du fait de la porosité des grains du sable recyclé qui ont tendance à ralentir l'hydratation du ciment on lui absorbant l'eau nécessaire à son hydratation.

On remarque aussi que les résistances à la traction sont nettement plus faibles à 7 et à 28 jours par rapport au celle du mortier ordinaire, mais restent toujours acceptables tout comme pour la compression. Cette baisse de résistance est due à la présence du plâtre dans le mélange.

2.1.4 Absorption d'eau par capillarité

Le tableau suivant donne les valeurs de l'absorption capillaire des différents mortiers :

Echantillon		Absorption d'eau par capillarité en grammes								
% Brique	% Plâtre	10 mn	20 mn	30 mn	40 mn	50 mn	60 mn	70 mn	80 mn	90 mn
60	0	23,88	25,68	27,07	28,8	29,73	30,68	31,43	32,06	32,65
	0,5	23,96	25,71	27,19	28,85	29,78	30,74	31,5	32,12	32,72
	1	24,05	25,87	27,26	28,89	29,83	30,81	31,57	32,19	32,79
	1,5	24,13	25,97	27,36	28,93	29,88	30,87	31,64	32,25	32,86
	2	24,21	26,06	27,45	28,98	29,94	30,94	31,71	32,31	32,93
70	0	25,32	26,73	27,9	29,33	30,19	31,06	31,75	32,41	33,08
	0,5	25,4	26,82	27,99	29,37	30,24	31,13	31,82	32,47	33,15
	1	25,48	26,92	28,09	29,42	30,29	31,19	31,89	32,54	33,22
	1,5	25,56	27,01	28,18	29,46	30,34	31,25	31,95	32,6	33,29
	2	25,64	27,11	28,28	29,5	30,39	31,32	32,02	32,66	33,35
80	0	26,74	27,78	28,72	29,85	30,64	31,44	32,07	32,76	33,51
	0,5	26,82	27,87	28,82	29,9	30,69	31,51	32,13	32,82	33,58
	1	26,91	27,97	28,91	29,94	30,74	31,57	32,2	32,88	33,64
	1,5	26,99	28,06	29,01	29,98	30,79	31,63	32,27	32,95	33,71
	2	27,07	28,16	29,1	30,02	30,85	31,7	32,34	33,01	33,78
Sable naturel		8,07	9,12	10,03	11,73	11,96	12,40	12,75	13,28	13,37

Tableau 6.17 : Résultat de l'essais l'absorption capillaire au cours du temps

2.1.4.1 Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps

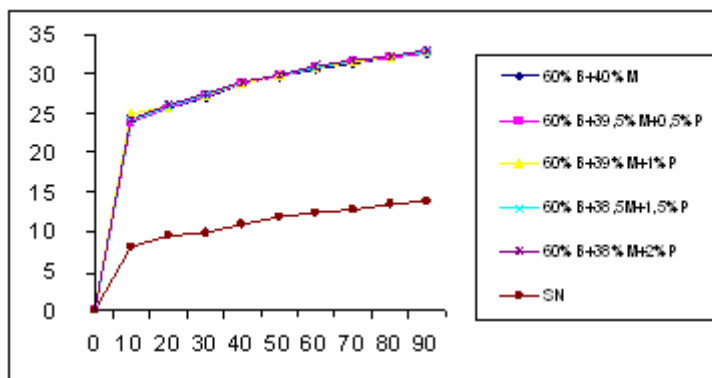


Fig. 6.13 : Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps pour le sable de 60% brique

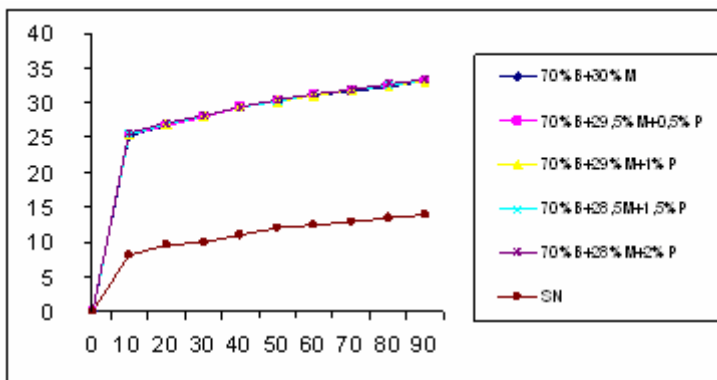


Fig. 6.14 : Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps pour le sable de 70% brique

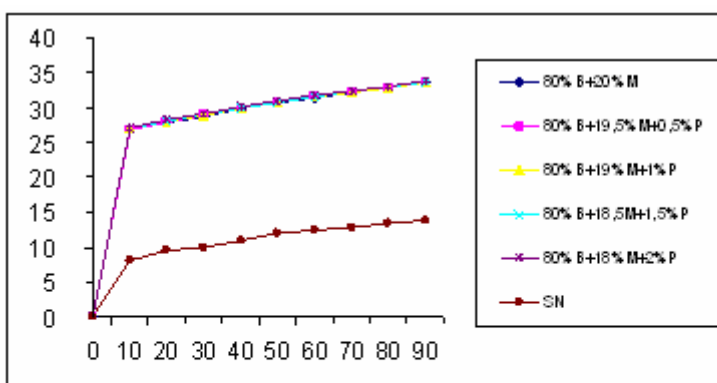


Fig. 6.15 : Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps pour le sable de 80% brique

Commentaire :

Les mortiers à base des sables recyclés ($S_{60/P}$, $S_{70/P}$, et $S_{80/P}$) absorbent beaucoup plus d'eau que le mortier à sable naturel. Ceci est dû à la présence de terre cuite et de plâtre qui ont une énorme capacité d'absorption, en plus de la grosseur des grains de ces sables qui permettent la formation des pores. En fait, on peut dire que plus la proportion du sable recyclé augmente, plus la succion d'eau par capillarité augmente.

On en déduit donc que l'absorption d'eau par capillarité est directement liée à la

porosité du mortier. Un mortier à base de sable naturel est plus compact, moins poreux et par conséquent plus étanche à l'eau.

Pour voir l'effet de la teneur en terre cuite, nous avons fait une comparaison entre mortiers à base de S_{60/0}, S_{70/0}, et S_{80/0} et mortier à base de sable naturel, cette comparaison est illustrée dans le graphe ci-dessous.

2.1.4.2 Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps pour (S_{60/0}, S_{70/0}, et S_{80/0})

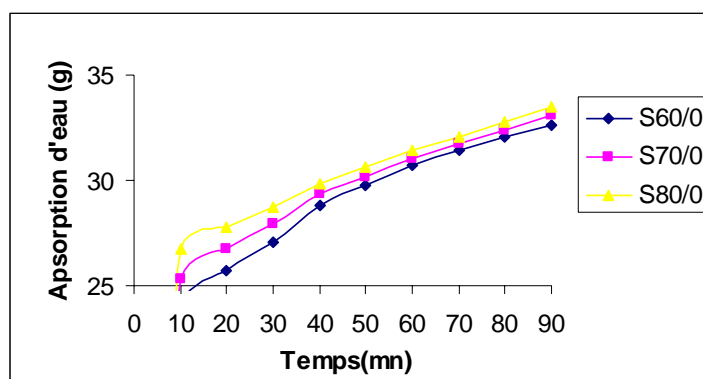


Fig. 6.16 : Evolution de l'absorption capillaire au cours du temps pour (S_{60/0}, S_{70/0}, et S_{80/0})

Commentaire :

Nous remarquons que plus le pourcentage de brique augmente, l'absorption capillaire augmente, tout comme l'avait déjà indiqué par Mlle BEDJOU [3].

2.2. Étude des essais thermiques sur des éprouvettes (4 ×8×16 cm)

Plusieurs essais sont effectués pour les éprouvettes du mortier durci ainsi que pour le mortier frais tel que : essai de maniabilité pour le mortier frais, essai de la masse volumique pour le mortier durcis et enfin l’essai de la conductivité thermique aux diverses échéances.

Sable recyclé		Maniabilité (s)	Masse volumique apparente (t/m ³)	Conductivité thermique λ (W/m.k)
% Brique	% Plâtre			
70	0	15,45	1.93	1,1506
	0,5	19,41	1.91	1,1253
	1	20,28	1.90	1,1165
	1,5	18,85	1.90	1,1513
	2	21,19	1.90	1,1031
80	0	16,3	1.90	1,1357
	0,5	15,98	1.90	1,1502
	1	15,87	1.92	1,2070
	1,5	21,53	1.91	1,1805
	2	22,27	1.94	1,1886
sable naturel		5,5	1.99	1,8670

Tableau 6.18 : Résultats de la maniabilité, la masse volumique apparente et valeurs moyennes de conductivité thermique pour les différents mélanges réalisés (E/C =0,86)

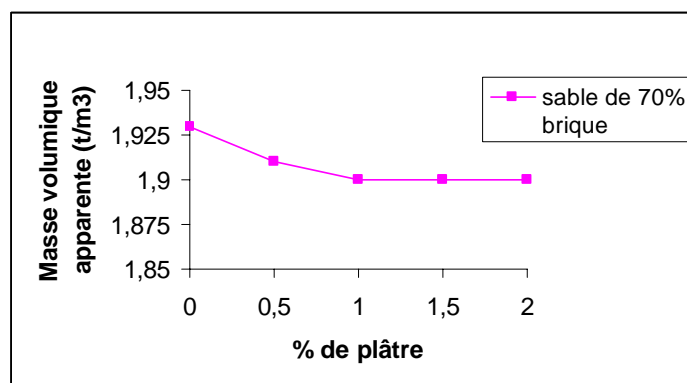


Fig. 6.17 : variation de la masse volumique apparente en fonction de pourcentage du plâtre en sable recyclé de 70% de brique

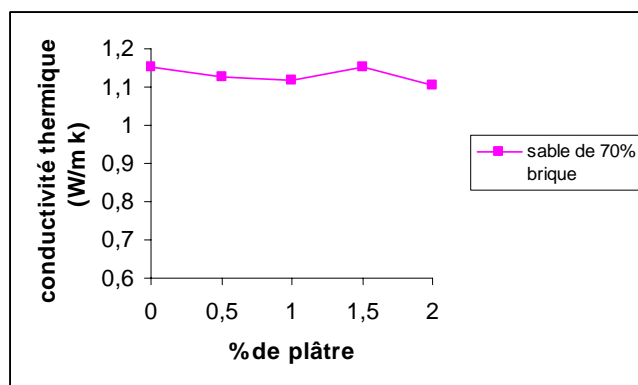


Fig. 6.18 : variation de la conductivité thermique en fonction de pourcentage du plâtre en sable recyclé de 70% de brique

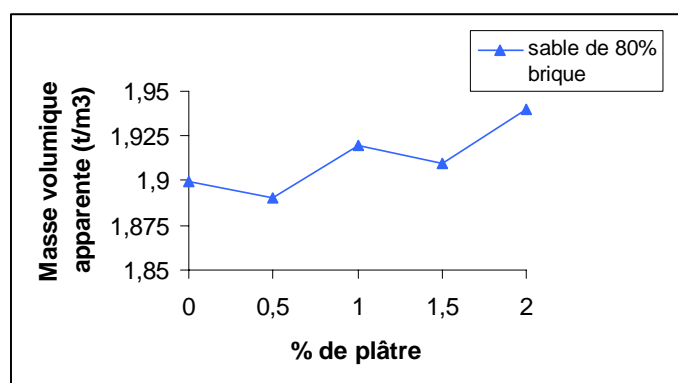


Fig. 6.19 : variation de la masse volumique apparente en fonction de pourcentage du plâtre en sable recyclé de 80% de brique

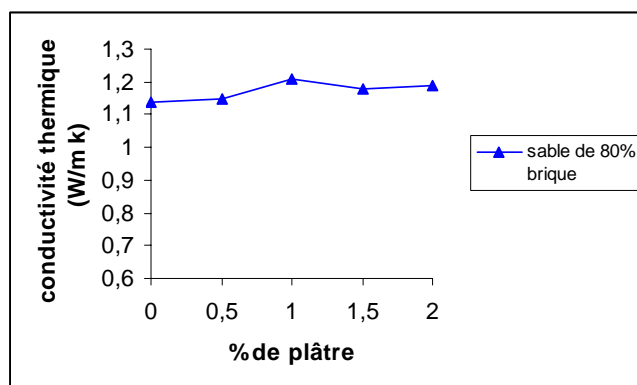


Fig. 6.20 : variation de la conductivité thermique en fonction de pourcentage du plâtre en sable recyclé de 80% de brique

Commentaire :

Le coefficient de conductivité thermique λ ne varie pas significativement tout au plus constate-t-on une baisse très légère en fonction de l'augmentation de la concentration en plâtre. Ceci s'explique par le fait que la masse volumique apparente ne varie pas sensiblement

On constate pour les deux types de sable recyclé que les mortiers à base de sable recyclé sont plus isolants que le mortier à base de sable naturel. Ceci est dû au fait que la terre cuite donne un sable plus léger.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION :

En conclusion, et d'après les résultats obtenus de cette étude on peut dire que :

- a. Pour les mortiers à base de «terre cuite, mortier de ciment, et plâtre », malgré le rapport E/C, plus élevé que celui du mortier ordinaire, les maniabilités obtenues sont juste acceptables, c'est dû à la très grande porosité de ces sables à cause de la présence du terre cuite et du plâtre, l'usage de superplastifiant non seulement améliore la maniabilité mais aussi la résistance finale.
- b. Les résistances à la compression et à la traction après 7, et 28 jours restent toujours moins fortes que celle d'un mortier ordinaire, mais acceptable, et c'est dû au fait de la présence du plâtre malgré ces faibles proportions, donc le plâtre est un élément défavorisant la résistance, que l'on doit toujours le minimiser au frais pour mesurer le rapport temps/coût de décapage de ce dernier.
- c. Les résistances mécaniques obtenues ainsi que les conductivités thermiques des mortiers à base de sable recyclé nous permettent d'envisager l'utilisation dans la construction de cloison séparatives en tant que mortier de hourdage, enduit, ou éventuellement bloc d'agglomération.

Pour de meilleurs résultats on peut faire les suggestions suivantes, qui peuvent faire l'objet d'une étude ultérieure :

- a. L'amélioration de la maniabilité des mortiers à base de sable recyclé, peut se faire : soit par un prémouillage des sables recyclés, soit par l'ajout d'un plastifiant ou superplastifiant pour avoir de meilleures résistances.
- b. Pour renforcer les résultats obtenus, il reste à vérifier la durabilité des mortiers à base de sables recyclés, en tenant compte des problèmes d'utilisation du plâtre, qui est à l'origine des phénomènes de gonflement des sels tel que l'étringite, et le thaumasite, qui se forment par le contact plâtre-ciment. Il faudra prévoir des essais de gonflement et de retrait sur les mortiers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **Amiour-Med & Hamoul-Med** : « Traitement et recyclage des déchets industriels dans le domaine de génie civil ». PFE. ENP2004

[2] **HEROUI Soufiane & BENRAMOUL Oussama** : « Caractérisation des mortiers à base de débris de maçonnerie recyclée ». PFE. ENP2005

[3] **Bedjou.S** : « Etude du recyclage de débris de briques ». Thèse de Majister. ENP (2003).

[4] **Déconstruction sélective : Otto RENTZ, Marc RUCH, Franck SCHULTMANN, Valérie SINDT, Thierry ZUNDEL** : « Institut Franco-Allemand de Recherche sur l'Environnement, et en collaboration avec Catherine CHARLOT-VALDIEU et Emmanuelle VIMOND Service Economie et Prospective du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment ».

[5] <http://gallery.uunet.be/ccbc/>

© CCB-C/CBB-H 2000

Webmaster : [Jean-Christophe VANDERHAEGEN](#)

[6] article de Wikipédia, l'encyclopédie libre: <http://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage>

[7] **Queband.M, Courtial.M & Buyle-Bodin.F** : « Le recyclage des matériaux de démolition. Matériaux et structure » Travaux, n° 721, juin 1996, PP. 65 – 72.

[8] **Bauchard. M & Joubert. JP** : « Utilisation en technique routière de granulats provenant du concassage de béton de démolition. LCPC », Nice, n° 134, novembre – décembre 1984, PP. 53 – 57.

[9] **L'environnement mis à profit** : « Production et consommation .www.labelinfo.ch »

[10] **Mon-immeuble** : « Les déchets du bâtiment et des travaux publiques, www.mon-immeuble.com »

[11] **Universalise (encyclopédie)** : Le recyclage.

[12] **Debieb.F** : « Valorisation des déchets de briques et béton de démolition comme agrégats de béton ». Thèse de magister. Université de Blida 2003.

[13] **BOUZIDI S.** : « Etude du recyclage des déchets de maçonnerie en mortier » .PFE ENP2004

[14] **Plan directeur sectoriel** « décharges pour déchets inertes » : Document technique (Fichier PDF, 8 pages).

[15] **Isabelle Pilon et Mario Laquerre, RECYC-QUÉBEC: « Société québécoise de récupération et de recyclage »** : « Guide d'information sur le recyclage des matériaux secs » (Fichier PDF, 124 pages), 1999. <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca>

[16] **Duriez.M** : « Nouveau traité de matériaux de construction.T1 ».Edition Dunod.1961

[17] **L.ALVISET** : « **Technique de l'ingénieur** : Matériaux de terre cuite. C905 », Mai 1987

[18] www.castorama.fr

[19] **Marc Nolhier** : « Construire en plâtre ». Edition : L'harmastian

[20] **IUP GENIE CIVIL** : « Cours Transfert Thermique (Fichier PDF, 29 pages) », 2002.

[21] **Jacqueline LECOMTE-BECKERS & Yann GREDAY**. « Faculté des Sciences Appliquées, Département ASMA, Science des Matériaux ». Université de Liège 2002

[22] **SA TELEPH : PRESENTATION DU CT MERE** : « Guide d'utilisation (18 pages).

[23] **SONATRO**: « Fiche technique du ciment CPJ »

[24] **Norme Française** : « Granulats. Equivalent de sable, AFNOR », Paris, septembre 1998

[25] **Norme Française** : « Granulats. Détermination de la propreté superficielle, AFNOR, Paris »,

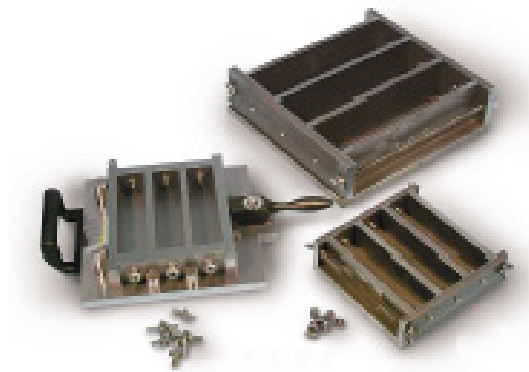
[26] **Norme Européenne** : « Méthodes d'essai, partie 5. Détermination de l'absorption capillaire », novembre 1995.

[27] **Norme française**. « Liants hydrauliques. Définition, classification et spécifications des ciments », AFNOR, Paris, décembre 1981.

[28] **Hansen. TC**, : Recycled aggregates and recycled aggregates concrete. Third State-of-the art report 1945-1989. Building Materials Laboratory, PP. 1 – 160.



ANNEXE



Moule 3 alvéoles pour essai de compression et de flexion



Entonnoir



Pycnomètre de Gay Lussac



Machine universelle de compression et flexion



Tamiseuse



Armoire thermostatique (Etuve)



Agitateur



Concasseur à cylindres



Equipement pour l'essai d'Equivalent de sable



Maniabilimètre



CT Métré avec deux éprouvettes (4x8x16cm)