

P0009/05A

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

*Ecole Nationale Polytechnique*

*Département de Génie civil*



المدسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

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

## THEME

**CARACTÉRISATION DES MORTIERS À  
BASE DE DEBRIS DE MAÇONNERIE  
RECYCLÉE**

Proposé et dirigé par :

**Mr. K.SILHADI**

Présenté par :

**HEROUI Soufiane  
BENRAMOUL Oussama**

*Promotion 2005*

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 montrer la possibilité de recycler les débris des de maçonnerie « mortier de ciment, brique de terre cuite » et les utiliser comme des sables recyclés. Pour cela, dans la première partie on va recycler le mortier de ciment concassé, puis l'introduire avec le sable naturel comme un mélange afin de confectionner un mortier dosé à  $350\text{kg/m}^3$ , pour l'étude des caractéristiques mécaniques du mortier.

Dans la deuxième partie, on va étudier les caractéristique thermique du mortier à base de mélange : sable naturel et sable recyclé de (terre cuite, mortier de ciment) avec deux dosage différents :  $350\text{kg/m}^3$  et  $400\text{kg/m}^3$ .

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

## Abstract

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

The principal goal of this study is to show the possibility of recycling the remains of masonry "mortar cement, terra cotta brick" and of using them like recycled sands. For that, in the first part one will recycle the crushed cement mortar, then to introduce it with natural sand like a mixture in order to make a proportioned mortar with  $350\text{kg/m}^3$ , for the study of the mechanical characteristics of the mortar.

In the second part, one will study the thermal characteristic of the mortar containing mixture: natural sand and sand recycled of (terra cotta, cement mortar) with two proportioning different:  $350\text{kg/m}^3$  and  $400\text{kg/m}^3$ .

**Key words:** Valorisation, Recycling, Déchets, Masonry, Cement mortar, Brick.

## ملخص

في الجزائر. المنشآت مبنية بالماسونية, فهو اذا يمثل الجزء الأكبر من بقايا تحطيم البنيات و التهديم. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة, هو تبين إمكانية إعادة استعمال بقايا عناصر الماسونية "ملاط الاسمنت, الأجر, " كرمل. لهذا في الجزء الأول, سنقوم بإعادة استعمال ملاط الاسمنت بطحنه ثم إدخاله كرمل, لغرض تشكيل ملاط جديد, بتركيز "  $350\text{kg/m}^3$  بغرض دراسة الخصائص الميكانيكية. في الجزء الثاني, سنقوم بدراسة الخصائص الحرارية لاسمنت مكون من خليط رمل طبيعي و رمل مرسل (اجر و ملاط الاسمنت) " مع تركيزين  $350\text{kg/m}^3$  و  $400\text{kg/m}^3$ .

**كلمات مفتاحية :** إعادة تقييم, إعادة استعمال, بقايا. الماسونية, ملاط الاسمنت, اجر.

## *Dédicace*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

*Je dédie ce modeste travail :*

*Aux deux êtres sans lesquels je ne serais rien, Qui n'ont jamais cessé de me soutenir. A ma Force dans ma faiblesse. A la lumière de ma vie :*

*Mon très cher père, et Ma très chère mère.*

*C'est a ceux que je doit mon bonheur et ma réussite et que dieu les gardes pour moi.*

*A ma tante Wisa et oncle Saleh*

*A mes chers frères et sœurs*

*A Sabrina, Youssef, Wassim, younes, Amel, Sara, Nassim*

*A Karim que je tiens a remercié de tout mon cœur*

*A mes oncles, tantes, cousins et cousines*

*A tout mes enseignants de l'ENP*

*A la promo de génie civil*

*A mes amis qui ont partagé avec moi les moments les plus difficiles et importants dans ma vie, a mes meilleurs amis : Redeaune, Rabah.*

## REMERCOMENT



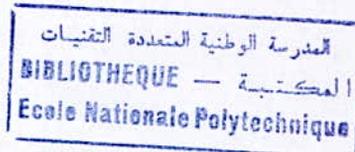
Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

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 tous 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 rencontrés à l'école ou même à l'extérieur et précisément notre cher ami Bouzidi Sid Ahmed.

Nous remercions très sincèrement notre promoteur, Monsieur K.SILHADI pour tous les savoirs qui nous ont apportés en 3<sup>ème</sup> année ainsi pour nous encadrer et diriger au cours de nos projets de fin d'étude. Aussi, pour tous les professeurs de l'ENP et sans oublier Monsieur SAADA qui nous a aidés à l'accès au laboratoire des mines afin d'effectuer l'opération du concassage.

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

# TABLE DES MATIERES



## INTRODUCTION GENERALE

1

### Chapitre I Utilisation des déchets en génie civil

1. HISTORIQUE	2
2. GENERALITES	2
3. CLASSIFICATION DES DECHETS	3
4. LES SPECIFICITES DES DECHETS DU SECTEUR DU BTP	5
5. LA VALORISATION DES DECHETS INERTES	6
5.1. Problème des déchets en Algérie	6
5.2. Etat des déchets de construction	7
5.3. Objectifs des pays développés dans le domaine de recyclage	8

### Chapitre II Gestion des déchets de construction et de démolition

1. INTRODUCTION	9
2. SOLUTIONS POUR LA VALORISATION DES DIFFERENTS TYPES DE DECHETS	9
3. TRAITEMENT ET GESTION DES DECHETS DE CHANTIER	11
3.1. Définition et principes	11
3.2. Traitement des déchets de chantier	12
3.3. Cas particulier de la gestion des déchets de démolition	17
3.4. La déconstruction sélective	17

### Chapitre III Généralités sur les maçonneries

1. INTRODUCTION	20
2. LES DEBRIS DE MAÇONNERIE	20
2.1. Les débris de terre cuite	20
2.2. Les débris des produits silico-calcaire	21
3. LA TERRE CUITE	21
3.1. Généralités	21
3.2. Caractéristiques mécaniques et physiques	21
4. LES MORTIERS	22
4.1. Généralités	22
4.2. Etude des qualités d'un mortier	22
4.3. Constitution des mortiers	24

## Chapitre IV Notions de thermique

1. LES PROPRIETES THERMIQUES DES MATERIAUX	26
2. QUELQUES DEFINITIONS DE THERMIQUE	26
2.1. La température	26
2.2. La conduction	26
2.3. La convection	28
2.4. Le rayonnement	28
3. RESISTANCE DES MAÇONNERIES DE BRIQUES A L'ACTION DES INTEMPERIES	28

## Chapitre V Caractéristiques des matériaux utilisés

1. GRANULATS	29
2. CIMENT	31
2.1. Définition	31
2.2. Analyse chimique	31
2.3. Essais physiquo-mécaniques	32
3. EAU DE GACHAGE	32
4. CONFECTION DU MORTIER	32

## Chapitre VI Procédures des essais réalisés

1. EQUIPEMENTS NECESSAIRES	33
2. ESSAIS D'IDENTIFICATION DES MATERIAUX	34
2.1. Analyse granulométrie	34
2.2. Module de finesse	34
2.3. Masses volumiques	35
2.4. Absorption d'eau	35
2.5. Compacité et porosité	35
2.6. Equivalent de sable	35
3. ESSAIS MECANQUES DE MORTIERS A BASE D'UN MELANGE DU SABLE NATUREL ET DU SABLE RECYCLE DE DEBRIS DE MORTIER DE CIMENT	35
3.1. Essai de maniabilité	36
3.2. Essai de résistance à la traction par flexion	36
3.3. Essai de résistance à la compression	37
3.4. Essai D'absorption capillaire	38

<b>4. ESSAIS THERMIQUES DE MORTIERS A BASE D'UN MELANGE DU SABLE NATUREL ET DU SABLE RECYCLE DE DEBRIS DE MORTIER DE CIMENT ET DE MORTIERS A BASE D'UN MELANGE DU SABLE NATUREL ET DU SABLE RECYCLE DE DEBRIS DE TERRE CUITE</b>	<b>39</b>
4.1. But et méthode de mesure de la conductivité thermique	39
4.2. Fonctionnement du CT Métré et procédure de l'essai	39

## Chapitre VII Interprétation des résultats expérimentaux

<b>1. RESULTATS ET INTERPRETATIONS DES ESSAIS EFFECTUES SUR LES SABLES</b>	<b>41</b>
1.1. Sable recyclé issu du concassage de mortier de ciment à base de sable marin	41
1.1.1. Analyse granulométrique par tamisage	41
1.1.2. Module de finesse	42
1.1.3. Masses volumiques	42
1.1.4. Compacité et porosité	43
1.1.5. Equivalent de sable	43
1.1.6. Absorption d'eau	44
1.2. Sable recyclé issu du concassage de mortier de ciment à base du sable de dune	44
1.2.1. Analyse granulométrique	44
1.2.2. Module de finesse	45
1.2.3. Masses volumiques	45
1.2.4. Compacité et porosité	46
1.2.5. Equivalent de sable	46
1.2.6. Absorption d'eau	47
1.3. Sable recyclé issu du concassage de débris de terre cuite	48
1.3.1. Analyse granulométrique par tamisage	48
1.3.2. Module de finesse	48
1.3.3. Masses volumiques	49
1.3.4. Compacité et porosité	50
1.3.5. Equivalent de sable	50
1.3.6. Absorption d'eau	51
<b>2. RESULTATS ET INTERPRETATIONS : CARACTERISATION DES MORTIERS</b>	<b>52</b>
2.1. Étude des éprouvettes mécaniques (4x4x16cm) de mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de mortier de ciment	52
2.1.1. Effet de la teneur en sable recyclé sur la maniabilité du mortier frais	53
2.1.2. la masse volumique apparente du mortier	53
2.1.3. Résistance à la compression	55
2.1.4. Résistance à la traction par flexion	56
2.1.5. Relation entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente	57

2.1.6. Absorption d'eau par capillarité	57
<b>2.2. Étude des essais thermiques sur des éprouvettes (4x8x16cm)</b>	<b>58</b>
2.2.1. Étude des éprouvettes thermiques (4x8x16cm) de mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de mortier de ciment	59
2.2.1.1. Etude de la maniabilité du mortier frais, la masse volumique apparente et de la conductivité thermique	59
2.2.2. Étude des éprouvettes thermiques (4x8x16cm) de mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de terre cuite	61
2.2.2.1. Etude de la maniabilité du mortier frais, la masse volumique apparente et de la conductivité thermique	61
<b>Conclusion générale</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXE</b>	
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	

Liste des tableaux

	Pages
<b>Tableau.1.1</b> : Statistiques des déchets solides et urbains en 1996	6
<b>Tableau.1.2.</b> Estimation théorique de la production annuelle des déchets du bâtiment	7
<b>Tableau.1.3:</b> Objectifs fixés pour le recyclage des matériaux secs dans différents pays	8
<b>Tableau.4.1</b> : Quelques valeurs de la conductivité thermique ( $\lambda$ ) pour différents matériaux	27
<b>Tableau.5.1</b> : Analyse chimique du ciment	31
<b>Tableau.5.2</b> : Analyse physico-mécaniques du ciment	32
<b>Tableau .6.1</b> : Essais effectués sur les matériaux	34
<b>Tableau.7.1</b> : Module de finesse des deux sables	42
<b>Tableau.7.2</b> : Masses volumiques des deux sables	42
<b>Tableau.7.3</b> : Valeurs de la compacité et la porosité des deux sables	43
<b>Tableau.7.4</b> : Equivalents de sable des trois sables	43
<b>Tableau.7.5</b> : Absorption d'eau des deux sables	44
<b>Tableau.7.6</b> : Module de finesse des deux sables	45
<b>Tableau.7.7</b> : Masses volumiques des deux sables	45
<b>Tableau.7.8</b> : Valeurs de la compacité et la porosité des deux sables	46
<b>Tableau.7.9:</b> Equivalents de sable des trois sables	46
<b>Tableau.7.10</b> : Absorption d'eau des deux sables	47
<b>Tableau.7.11</b> : Module de finesse des trois sables	48
<b>Tableau.7.12</b> : Masses volumiques des trois sables	49
<b>Tableau. 7.13</b> : Masses volumiques des trois sables recyclés	49
<b>Tableau.7.14</b> : Valeurs de la compacité et la porosité des trois sables	50
<b>Tableau.7.15</b> : Equivalents de sable des trois sables	50
<b>Tableau.7.16</b> : Absorption d'eau des trois sables	51

<b>Tableau.7.17 : Résultats des différents essais réalisés</b>	<b>52</b>
<b>Tableau.7.18 : Résultats de l'essai d'absorption capillaire au cours du temps</b>	<b>57</b>
<b>Tableau.7.19 : Résultats de la maniabilité, la masse volumique apparente et valeurs moyennes de conductivité thermique pour les différents mélanges réalisés</b>	<b>59</b>
<b>Tableau.7.20: Résultats de la maniabilité, la masse volumique apparente et valeurs moyennes de conductivité thermique pour les différents mélanges réalisés</b>	<b>61</b>

## Liste des figures

	<b>Pages</b>
<b>Fig.1.1</b> : Décharges de gravats de la Wilaya d'Alger	5
<b>Fig.1.2</b> : Le cycle des matériaux de construction	6
<b>Fig.2.1</b> : Photo d'une installation de tri de déchets tout-venant	12
<b>Fig.2.2</b> : Gestion des déchets de chantier	13
<b>Fig.2.3</b> : système de tri multibennes	13
<b>Fig.2.4</b> : Le triage en images	14
<b>Fig.2.5</b> : Les principales étapes de traitement des déchets de chantier	15
<b>Fig.2.6</b> : traitement des déchets de chantier	16
<b>Fig.2.7</b> : Structure du modèle informatisé d'optimisation du démontage et de recyclage des déchets des bâtiments	19
<b>Fig.5.1</b> : Vue du sable naturel (SNM ) prise avec le vidéomicroscope ( $\times 50$ )	29
<b>Fig.5.2</b> : Vue de SRM prise avec le vidéomicroscope ( $\times 50$ )	30
<b>Fig.5.3</b> : Vue de S RB prise avec le vidéomicroscope ( $\times 25$ )	30
<b>Fig.6.1</b> : Dispositif de l'écrasement à la compression	37
<b>Fig.6.2</b> : Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire	38
<b>Fig.7.1</b> : courbes granulométriques des deux sables	41
<b>Fig.7.2</b> : courbes granulométriques des deux sables	44
<b>Fig.7.3</b> : Distributions granulométriques des trois sables	48
<b>Fig.7.4</b> : Variation de la maniabilité du mortier en fonction du taux du sable recyclé avec $E/C= 0.86$	53
<b>Fig. 7.5</b> : Evolution de la masse volumique apparente en fonction du temps	53
<b>Fig. 7.6</b> : Variation de la masse volumique apparente en fonction de la teneur en sable Recyclé	54
<b>Fig.7.7</b> : Evolution de la résistance en compression dans le temps	55
<b>Fig.7.8</b> : Variation de la résistance en compression en fonction de la teneur en sable recyclé	55
<b>Fig.7.9</b> : Evolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps	56

<b>Fig.7.10</b> : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en sable recyclé	56
<b>Fig.7.11</b> : Vue de l'état de rupture des prismes de mortier étudiés	57
<b>Fig.7.12</b> : Evolution de l'absorption capillaire des différents mortiers au cours du temps	58
<b>Fig.7.13</b> : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de mortier de ciment ( $c=400\text{kg/m}^3$ )	59
<b>Fig.7.14</b> : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de mortier de ciment ( $c=350\text{kg/m}^3$ )	60
<b>Fig.7.15</b> : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de terre cuite ( $c=400\text{kg/m}^3$ )	62
<b>Fig.7.16</b> : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de terre cuite ( $c=350\text{kg/m}^3$ )	62

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

# INTRODUCTION GENERALE

## -Introduction générale :

La sensibilisation aux problèmes environnementaux s'accroît jour après jour, ainsi l'environnement fait l'objet d'une attention accrue depuis quelques décennies [4].

Toute activité humaine matérielle consomme des matières premières et produit, à plus ou moins long terme, des résidus [20]. Les résidus des chantiers de bâtiment et de travaux publics sont rarement pris en compte dans le cadre des plans d'élimination des déchets imposés par la réglementation pour gérer les déchets ménagers et assimilés ou les déchets industriels spéciaux. Alors que l'élimination de ces déchets par mise en décharge ou par incinération devient de plus en plus onéreuse, certains d'eux ont par ailleurs une grande valeur économique. La valorisation se voit donc accorder la primauté pour des raisons non seulement écologiques, mais aussi bien économiques [4].

La très grande majorité des déchets de chantier sont éliminés en mélange, surtout pour le secteur du bâtiment où 90% sont ainsi mis en décharge, ce qui va limiter les possibilités de valorisation.

Dans les pays européens tel que la Suisse, avec presque 12 millions de tonnes par an, des déchets de chantier sont la principale source des déchets. En France, plus de 132 millions de tonnes de déchets de chantiers de bâtiment et de travaux publics (majoritairement des terres) sont produits chaque année [7].

En Algérie, la quantité des déchets de construction et de démolition est de plusieurs millions de tonnes par année (terres non comprises) [7].

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 [4].

En 1981, la RILEM (Regroupement Internationale des Laboratoires de recherche et d'Essais pour Matériaux et structures) a créé le comité technique 37-DRC (Démolition and Reuse of Concrete) qui concerne des normes pour la démolition et la réutilisation du béton et de la maçonnerie, puis la création du DRG (Démolition and Reuse Guidelines) en 1989 jusqu'à 1993. Depuis 1996, une collaboration entre le CEN (Comité Européen de Normalisation) et la RILEM a été organisée pour élaborer des normes et guides internationaux sur le recyclage des déchets de chantier.

Dans le cadre de notre projet, nous étudierons des nouveaux matériaux recyclés à base des débris de maçonneries : débris de mortier de ciment et de briques. Notre travail comporte deux parties essentielles :

- ❖ En 1<sup>er</sup> lieu : Etude du comportement mécanique des mortiers recyclés confectionnés à base du mélange : sable naturel + mortier de ciment concassé.
- ❖ En 2<sup>ème</sup> lieu : Etude du comportement thermique des mortiers recyclés confectionnés à base de deux mélanges :
  - sable naturel + mortier de ciment concassé
  - sable naturel + débris de briques concassés.



**CHAPITRE I :**  
**UTILISATION DES DECHETS**  
**EN GENIE CIVIL**

## 1. Historique

Le recyclage de matériaux et des déchets de démolition était déjà connu et utilisé par les romains. Ils construisaient de nouvelles statues des dieux à l'aide des matériaux issus de la destruction des anciens statuts des dieux qui n'étaient pas vénérés. Le recyclage a connu son début en Europe et particulièrement en Allemagne et en Grande Bretagne du fait des villes sinistrées à cause du bombardement pendant et après la seconde guerre mondiale.

Parmi les premiers rapports de recherche publiés dans ce domaine on cite celui de 'BUCK' en 1973 puis en 1976 sur les granulats de béton recyclé [8]. Malhotra a confirmé les résultats obtenus par des observations aux microscopes optique et électronique sur les matrices de ciment hydraté. Fondistou-Yannas et Tomasawa ont mesuré les modules d'élasticité et de retrait d'hydratation du béton recyclé [7].

Après la bonne réussite de 1976, les travaux de recherche sur le recyclage du béton de chaussée ont évolué jusqu'à 1980 où les Américains tentaient un grand projet de recyclage d'une longue chaussée en béton pour les couches de fondations [8].

En Europe, au début des années 80, les déchets de démolition et de construction aboutissaient généralement dans des décharges. Au cours de la dernière décennie, le recyclage est devenu un autre moyen d'évacuer les déchets. Ces nouvelles perspectives et ces objectifs à l'horizon 2000 résultent d'un changement de mentalité : l'ère du tout jetable est révolu, et ce, principalement pour les raisons suivantes :

- les ressources naturelles ne sont pas inépuisables ;
- les décharges se raréfient et sont de plus en plus éloignées des chantiers (notamment en région urbaine) ;
- les réglementations concernant la protection de l'environnement sont de plus en plus sévères et contraignantes et traduisent un rejet social des nuisances ;

Les moyens d'action dans le cadre de ce changement de mentalité peuvent être les suivants :

- la limitation des quantités de déchets produits ;
- une réglementation obligeant chaque producteur de déchets à traiter ces derniers ;
- la mise au point éventuelle de nouvelles méthodes de démolition ou déconstruction et l'amélioration des procédés de production ;
- la conception de nouveaux matériaux et produits, voire de nouvelles techniques de construction ;
- une réglementation appropriée favorisant l'utilisation de matériaux ou produits recyclés : standards, seuils de qualités et contrôles [3].

## 2. Généralités

L'augmentation des déchets de chantier provient presque exclusivement du bâtiment. Elle est essentiellement imputable à la forte croissance des déchets minéraux [19]. 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) [5].

En Algérie, suite à des sinistres naturels tel que : séismes, crues et par vieillissement et dégradation, des bâtiments publics, des ponts et des installations industrielles sont démolis sans recyclage. Du fait de la limitation des ressources naturelles d'agrégats d'une part et l'accroissement des coûts de transport et de la pollution de l'environnement à cause des déchets de démolition d'autre part, il est indispensable d'étudier la possibilité de valorisation de ces déchets (qui comportaient une forte proportion de briques) [8].

### - Définitions :

- ❖ **Déchet** : tout matériau produit involontairement lors d'une fabrication ou d'une utilisation ;
- ❖ **Elimination** : l'opération a pour but de traiter un déchet sans lui conférer une valeur d'usage en assurant sa réintégration sans risque dans l'environnement ;
- ❖ **Valorisation** : toute opération permettant de réintroduire un déchet dans un processus de production ou de lui conférer une nouvelle valeur d'usage. On parle plus particulièrement de :
  - ✓ Valorisation matière ou recyclage mécanique.
  - ✓ Valorisation énergétique ou recyclage thermique.
  - ✓ Valorisation chimique [11].
- ❖ **Réemploi** : prolonger la vie d'un produit : une bouteille de verre est lavée et remplie à nouveau ;
- ❖ **Recyclage** : utiliser les déchets d'un produit pour fabriquer le même produit : une bouteille de verre est broyée puis renvoyée au four de cuisson ;
- ❖ **Réutilisation** : utiliser les déchets d'un produit pour fabriquer un autre produit : les déchets de pneus, de matières plastiques sont transformer en matières combustibles par pyrolyse [20].

### 3. Classification des déchets [5].

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 [8].) 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. [10].

#### 4. Les spécificités des déchets du secteur du BTP [5].

- ❖ Une très grande diversité dans la taille, dans la concentration et dans la fréquence des chantiers et donc dans la production des déchets dans le temps et dans l'espace, qui nécessitent des structures de regroupement et de tri (plates-formes).
- ❖ Une très grande diversité dans les professions et la taille des entreprises (du major du BTP à l'artisan travaillant seul) qui pose d'importantes difficultés pour ce qui concerne l'information, la sensibilisation et la formation.
- ❖ Une majorité de déchets qui ne peuvent pas suivre les filières traditionnelles de valorisation des déchets ménagers et des déchets des autres entreprises, de par leur nature, leur taille et leur caractère non incinérable pour une majorité d'entre eux.
- ❖ Une majorité de déchets inertes, étroitement associés à la source avec des déchets du second œuvre dans le cas des chantiers de démolition et de réhabilitation de bâtiments.
- ❖ Une multitude d'intervenants sur un même chantier augmente les difficultés de gestion, chaque partenaire (maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, coordonnateur SPS, bureau de contrôle, entreprises générales et sous traitantes) ayant une part de responsabilité

##### Exemple :

La figure N° 1.1 présente un lieu de dépôts et de décharge de gravats de la wilaya d'Alger.



**Fig.1.1 : Décharges de gravats de la Wilaya d'Alger [7].**

## 5. La valorisation des déchets inertes [8], [24], [26], [19].

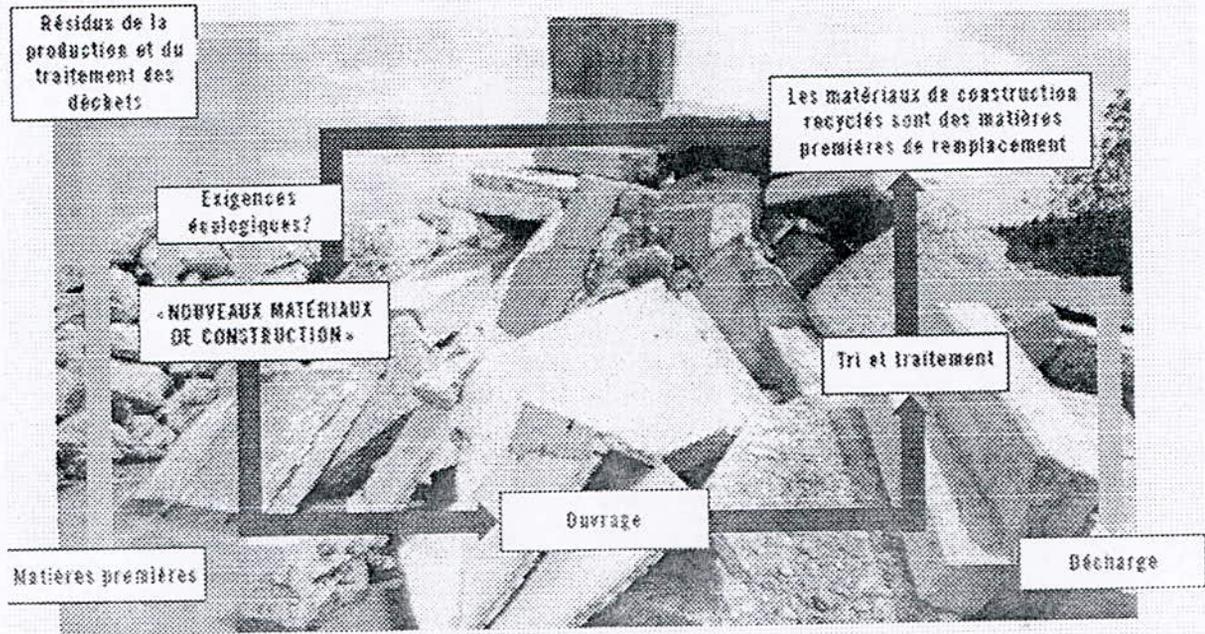


Fig.1.2: Le cycle des matériaux de construction [19].

Les déchets inertes proviennent essentiellement de la construction, réhabilitation et de la démolition des bâtiments, de la route et de la démolition des ouvrages d'art [8]. Dans la pratique, tout particulièrement pour les chantiers de démolition et de réhabilitation, les matériaux du second oeuvre sont toujours mélangés avec ceux qui composent le gros oeuvre (béton armé, briques, parpaings, pierres...).

### 5.1. Problème des déchets en Algérie [7]

En vu du développement de secteur de construction et de BTP. L'Algérie connaîtra dans les années à venir une demande très importante en matière de construction, d'autre part elle connaîtra une croissance importante en matière de déchets. Le tableau si dessous donne des statistiques évaluées par le gouvernement en ce qui concerne les déchets solides et urbains.

Production des déchets industriels et urbains millions de tonnes	27
Déchets évacués (kg/ habitant)	0.650
Taux de recyclage (%)	10
Evacuation des déchets urbains kg/ habitant/jour	0.500

Tableau.1.1 : Statistiques des déchets solides et urbains en 1996.

## 5.2. Etat des déchets de construction [7]

En Algérie, Les déchets de construction sont souvent sous estimés, il n'existe aucun chiffre exacte de taux des déchets. Dans le but de la gestion des déchets de bâtiment plusieurs recherches ont été menues pour résoudre ce problème, tel que celle de M<sup>lle</sup>. Bedjou [7], qui a recueilli quelques informations sur la quantité des déchets du bâtiment générée par année. Les quantités de ces déchets sont données par le tableau suivant :

TYPE DE DECHETS	QUANTITE EN MILLIONS DE TONNES
Construction neuve	1.330
Réhabilitation et démolition	0.400
Travaux de transformation de logements	0.133
Fabrication des matériaux et d'éléments de construction	0.340
Total des déchets	2.183

Tableau.1.2. Estimation théorique de la production annuelle des déchets du bâtiment

De plus, elle a fait une enquête sur l'état des déchets de chantier et leur gestion sur les 48 Wilayas. Elle a choisi ensuite une décharge située a l'Ouest d'Alger pour faire le contrôle de la qualité et la quantité des déchets, elle a donné les remarques suivantes:

- Les déchets réceptionnés dans cette décharge ne sont pas triés. Autrement dit cette décharge sert de lieu de stockage de déchets de bâtiment.
- L'opération d'identification de ces déchets et de leur quantité consiste seulement à contrôler l'enregistrement au niveau du poste de garde.
- Absence d'une installation de recyclage des déchets de construction. Bien que l'entreprise recherche une solution technico-économique lui permettant de bien exploiter et valoriser ces déchets.
- En générale, les déchets de chantier sont gérés d'une façon non réglementaire, il n'existe aucun plan de gestion des déchets. bien que quelques chiffres sont donnés et ils montrent leur importance.

En fin, l'état actuel des déchets de construction montre leur impact sur l'environnement. A noter que tous les intervenants dans l'acte de construction doivent assumer la responsabilité de gérer et valoriser les déchets de bâtiment.

### 5.3. Objectifs des pays développés dans le domaine de recyclage

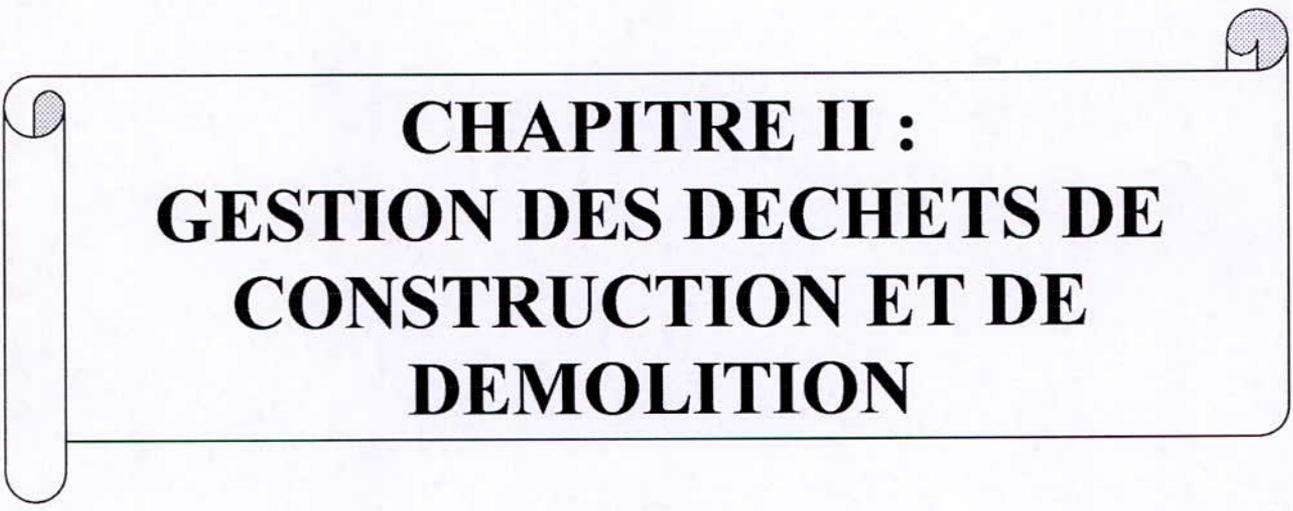
La majorité des pays développés se sont fixés des objectifs de valorisation des déchets qui sont donnés dans le tableau N° 1.1.

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 [24].

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.1.3: Objectifs fixés pour le recyclage des matériaux secs dans différents pays [26].**

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

**CHAPITRE II :**  
**GESTION DES DECHETS DE**  
**CONSTRUCTION ET DE**  
**DEMOLITION**

## 1. Introduction [1]

Alors que le bâtiment est dominé par le béton et la maçonnerie, les ouvrages de génie civil recourent au sable et au gravier à raison de 60%.

Les matériaux composant les bâtiments se retrouvent tôt ou tard sous la forme de déchets de chantier. Si tous ces déchets sont transformés en matériaux de recyclage de qualité, ils entreront en rude concurrence avec les sables et graviers naturels.

Malheureusement, tous les efforts de valorisation sont encore largement insuffisants. Le prix modique des matières naturelles et de l'élimination des déchets de chantier sont une entrave à leur recyclage. De plus, on continue de penser que les matériaux de recyclage devraient être meilleur marché à qualité équivalente que les matières premières naturelles.

Le recyclage risque en effet de provoquer une accumulation de polluants dans les matériaux de construction si leur fabrication première n'est pas soumise à des contraintes rigoureuses de nature écologique.

## 2. Solutions pour la valorisation des différents types de déchets [18], [5]

L'élimination et la gestion des déchets de construction se modernisent. Pour l'entreprise, il y a beaucoup de nouvelles contraintes, mais surtout d'opportunités.

### Les contraintes.

- L'entrepreneur est tenu d'assurer le recyclage des débris.
- Les conditions d'accès aux décharges sont plus rigoureuses et drastiques.
- Les coûts liés aux différents modes de gestion augmentent de façon considérable.
- La gestion de chantier devient plus exigeante et complexe : il y a une multitude d'acteurs qui créent des déchets très divers mais en même temps, l'organisation du chantier exige une seule et unique manière de gérer les déchets, pour des raisons de coûts et de place.
- L'incinération reste une option toujours controversée - l'espace dans les décharges diminue- la gestion traditionnelle arrive à ses limites.

### Les opportunités.

- Les matières premières de seconde génération provenant des débris sont recommandées dans des remblais, sous fondation en empierrement, revêtement de chaussées, etc... dans des travaux routiers et d'infrastructure.
- Le recyclage et la bonne gestion de chantier sont rentables.
- La valorisation des déchets de construction est un geste positif pour l'environnement et pour la conservation des ressources naturelles.
- La prévention et la gestion des déchets différenciés sont une partie importante de la gestion environnementale du secteur de la construction. Elles sont obligatoires dans certains pays européens.
- Les clauses contractuelles avec des sous-traitants impliqués permettent une gestion optimisée et des frais partagés.

Il est à noter que le principe le plus important de nos jours, après la prévention, est la valorisation le plus en amont possible de la production des déchets car ce procédé vise soit à réutiliser un produit devenu déchet, soit à obtenir des matières sèches ou encore à produire de l'énergie à partir de la combustion des déchets.

### - Prévention :

La gestion du travail sur chantier se fera par un choix intelligent et adapté des matériaux et de façon à réduire autant que possible le gaspillage de fournitures, à limiter la quantité de déchets produits et à éviter toute production de déchets ayant des caractéristiques dangereuses.

### - Valorisation :

1. **Réutilisation** : des matériaux non altérés sont extraits du flux de déchets en vue de leur réutilisation, sans traitement préliminaire. Pavés, briques, boiseries,....
2. **Recyclage** : Un traitement des débris dans un centre de concassage peut en faire des matériaux de haute qualité [18].

Le degré de tri des déchets sur les chantiers est fonction du type de bâtiment et de chantier. Ainsi, le tri des déchets est en général techniquement plus facile sur les chantiers de construction que sur les chantiers de réhabilitation et de démolition. Grosso modo, tous les emballages n'ayant pas contenu de produits dangereux ou n'en contenant plus doivent être valorisés (recyclage ou incinération avec récupération d'énergie).

Le tri des déchets peut n'être que partiellement réalisable sur les chantiers de réhabilitation et de construction qui ne disposant que de peu de places. Alors, il n'est possible que de réaliser un pré-tri qui doit alors être accompagné d'un tri plus complet, en aval du chantier en procédant un regroupement des déchets produits par divers chantiers réalisé dans des structures adaptées qui sont essentiellement de trois types :

- Les déchetteries des collectivités : elles collectent les déchets de chantiers pour les ménages qui réalisent des travaux par eux mêmes et qui produisent des déchets très identiques à ceux que produisent les entreprises qui réalisent les mêmes travaux ; ou pour les faibles quantités de déchets provenant de chantiers de petites tailles et des travaux d'entretien (réalisés essentiellement par les artisans et petites entreprises du bâtiment).
- Les distributeurs de matériaux de construction professionnels : permettent à une entreprise qui vient se fournir en matériaux, de se "débarrasser" en même temps de ses déchets. D'un point de vue logistique et limitation des distances de transport, ils constituent donc un maillon essentiel de la collecte.
- Les plates-formes dédiées aux déchets de chantiers : ces plates-formes peuvent comporter les trois activités suivantes ou seulement l'une des trois : regroupement - tri - recyclage [5].

### - Élimination :

1. **Déchets Combustibles** : Les déchets combustibles seront éliminés selon la hiérarchie suivante:

### ❖ Incinération avec récupération d'énergie :

L'incinération peut se définir comme une combustion complète de déchets combustibles dans un four et à une température adaptée aux caractéristiques de ces déchets. Certains incinérateurs récupèrent une partie plus ou moins importante de l'énergie produite par l'incinération de déchets combustibles. Ces incinérateurs sont à privilégier. Il faut toujours veiller à ce que les déchets soient incinérés dans une installation équipée d'un lavage des fumées, permettant de maîtriser les polluants émis.

### ❖ L'incinération sans récupération d'énergie :

Ce type d'incinération permet de réduire le tonnage des déchets mis en décharge et neutralise souvent les matières actives.

## 2. Déchets Incombustibles :

### ❖ Mise en décharge :

La mise en décharge est parfois précédée d'un traitement physico-chimique pour réduire les effets nuisibles sur le sol et les eaux souterraines (amiante) [18].

## 3. Traitement et gestion des déchets de chantier [7], [8], [18], [21]

Dans certains pays développées, le traitement et la gestion des déchets sont organisés suivant des principes que nous décrivons dans cette partie.

### 3.1. Définition et principes

#### ❖ 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 (bitumineux 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 [18].

#### ❖ Déchets de chantier :

Sont considérés comme déchets de chantier tous les déchets de construction ou de démolition:

- Déblais non pollués provenant de travaux d'excavation, de découverte et de percement
- Gravats, c'est-à-dire déchets de chantier minéraux constitués de pierres et d'autres matières minérales de même nature (briques, béton, tuiles, etc.)
- Déchets de chantier incinérables (bois, carton, plastiques, textiles, etc.)
- Déchets de chantier tout-venant, c'est-à-dire déchets de chantier mélangés contenant diverses matières telles que bois, métal, plastique et éléments minéraux.
- Béton de démolition: matériau obtenu lors de la démolition ou du fraisage d'ouvrages

ou de revêtements en béton armé ou non armé.

- Matériaux de démolition non triés: mélange des fractions minérales provenant d'éléments de maçonnerie en béton, en briques de terre cuite, en briques silico-calcaires et en pierre naturelle.
- Déchets spéciaux de chantier : Huile de vidange, piles, restes de peinture, de colle, de résidus de sablage, solvants, etc. Ces déchets doivent être traités séparément des autres

#### ❖ Obligation de tri :

Il ne faut en aucun cas mélanger les déchets spéciaux issus de travaux de construction ou de démolition aux autres déchets. Ces derniers doivent être triés comme suit:

- Déblais non pollués provenant de travaux de découverte, d'excavation ou de percement
- Gravats
- Déchets de chantier incinérables
- Déchets de chantier tout-venant.

Lors de travaux de démolition, le tri s'effectuera par déconstruction ordonnée (démontage ciblé). On utilisera, pour les constructions et transformations, un système de tri multibennes. Si, pour des raisons d'exploitation, ce tri ne peut se faire sur chantier, on recourra à une installation de tri de déchets tout-venant.

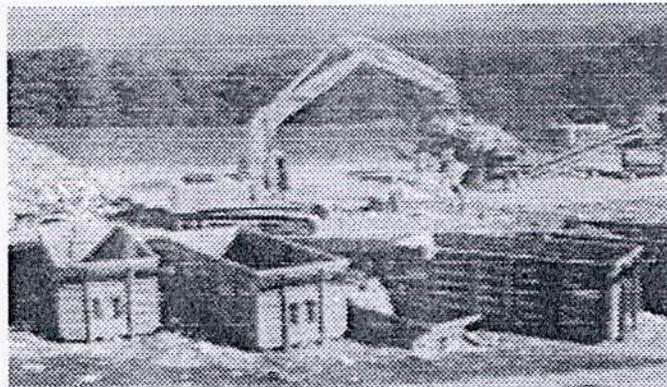


Fig.2.1: Photo d'une installation de tri de déchets tout-venant.

## 3.2. Traitement des déchets de chantier

### 3.2.1. Attribution :

L'orientation des flux de déchets de chantier vers l'une des installations de traitement ou stockage comprend deux niveaux:

1. Tri sur chantier ;
2. Traitement des gravats et tri des déchets de chantier tout-venant.

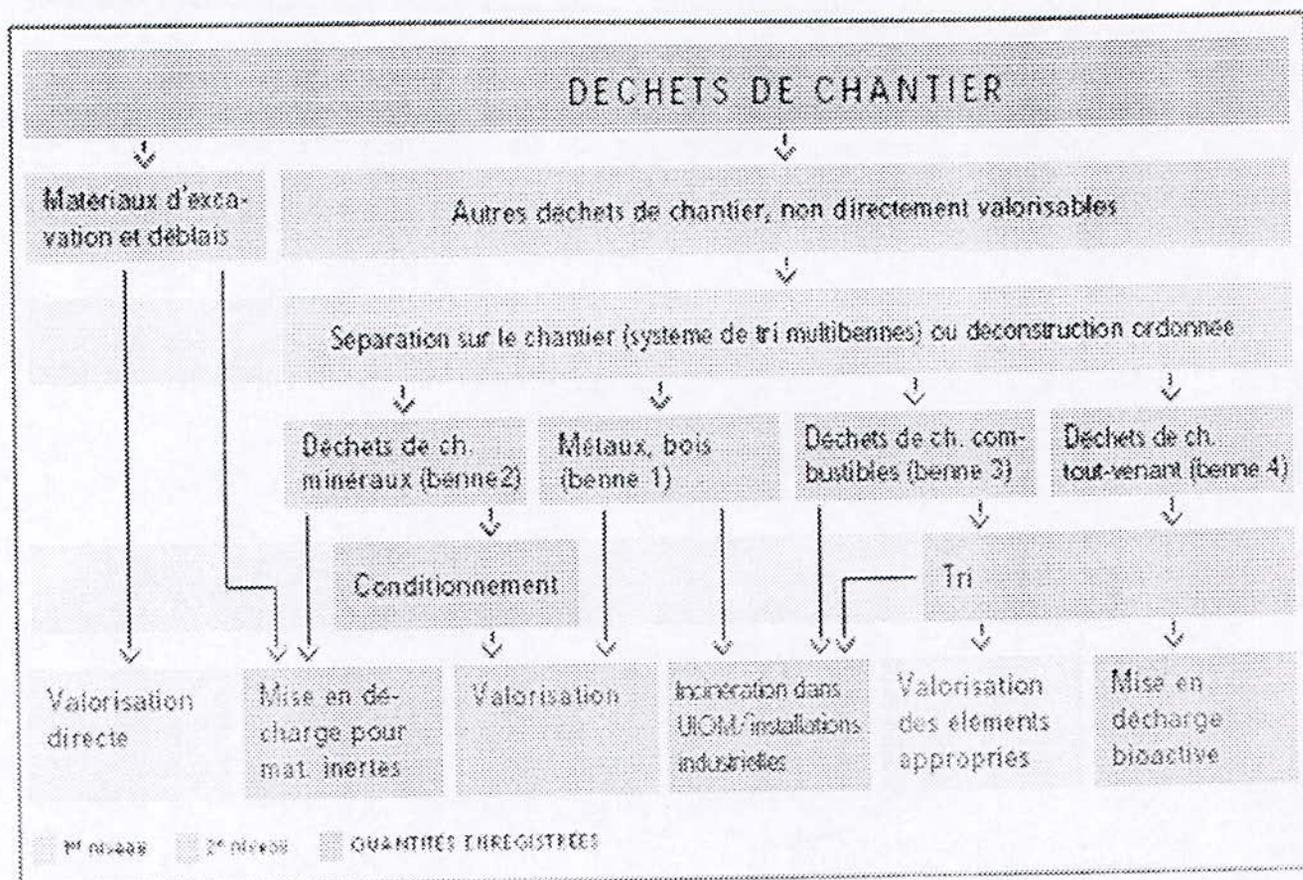


Fig. 2.2: Gestion des déchets de chantier [21].

### 3.2.2. Tri sur chantier

Le tri des déchets de chantier non directement valorisables doit, dans la mesure du possible, s'effectuer conformément au système de tri multibennes.

Les bennes de déchets tout-venant sont acheminées vers les installations de tri régionales. Le tri se fait manuellement, par grappin ou mécaniquement.

Benne 1	Benne 2	Benne 3	Benne 4
Benne à substance unique	Benne à gravats	Benne à déchets incinérables (benne UICM)	Déchets de chantier tout-venant, déchets encombrants
Matériaux inertes (erobes, matériaux d'excavation, briques, béton, plâtre, tuiles, etc.)	Éléments minéraux mélangés (béton, briques, tuiles, gravier, céramique, matériaux en ciment)	Déchets combustibles non valorisables (bois, papier, carton, plastique, matériaux d'isolation, etc.)	Déchets de chantier mélangés (déchets de bennes à gravats et de bennes UICM)
Déchets organiques (bois, humus)			
Carton, plastique, métaux			
Pas de déchets spéciaux (matériaux huileux, restes de peintures, solvants, etc.)			

Fig.2.3: système de tri multibennes

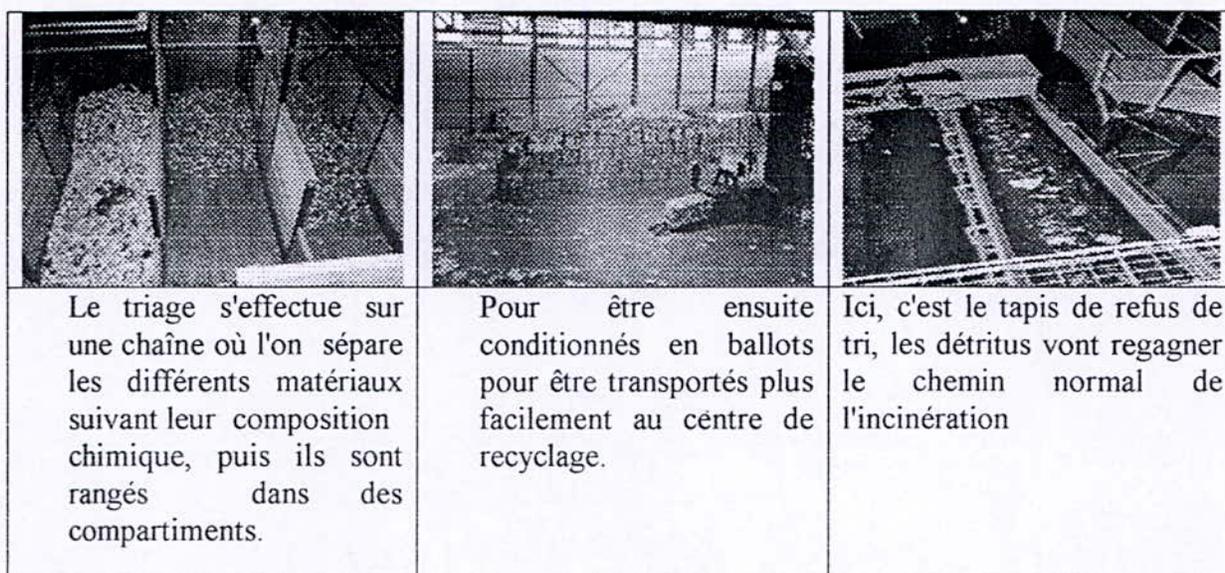


Fig.2.4: Le triage en images

### 3.2.3. Conditionnement :

Les déchets de chantier minéraux représentent plus de 80 % des déchets collectés séparément. Le conditionnement de ces déchets englobe la séparation des matières indésirables, le broyage et le tamisage.

### 3.2.4. Valorisation directe :

Une bonne partie des déchets de chantier peut-être valorisée directement sur le chantier. C'est le cas par exemple des matériaux bitumineux et non bitumineux de démolition. Les matériaux d'excavation peuvent être valorisés sur place si leur qualité est suffisante ou pour combler des sites d'extraction [21].

### 3.2.5. Traitement des déchets de chantier :

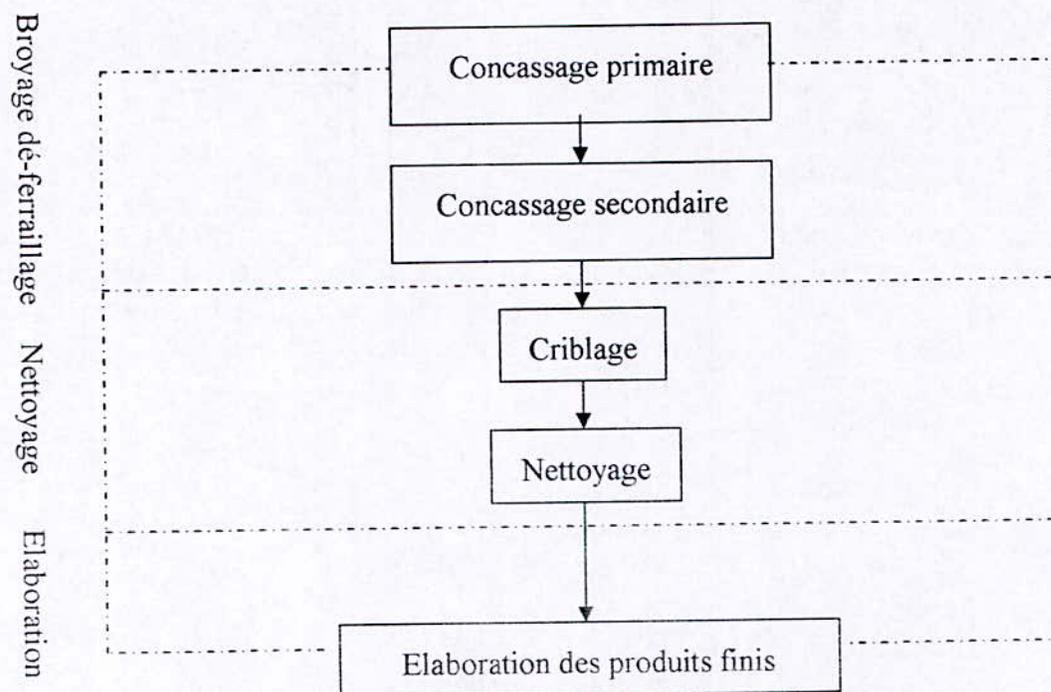


Fig.2.5: Les principales étapes de traitement des déchets de chantier.

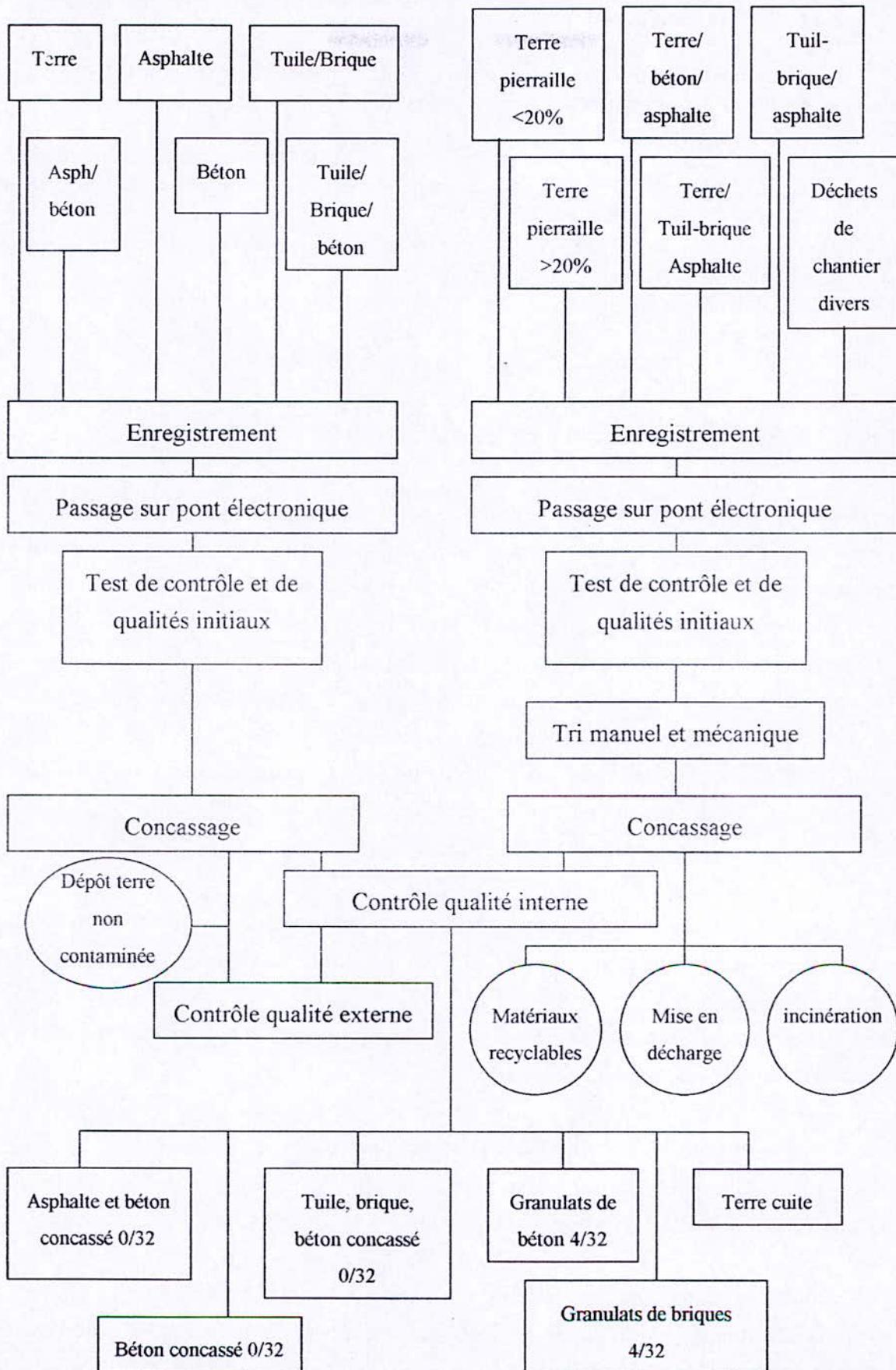


Fig.2.6: Traitement des déchets de chantier [8].

### 3.2.6. Mesures à prendre :

Le traitement des déchets de chantier diffère en fonction du type de déchets. Le marché et les dysfonctionnements observés nécessitent un contrôle renforcé du respect des prescriptions et des directives:

- Surveillance des travaux d'excavation sur d'anciennes surfaces industrielles ou artisanales (sites potentiellement contaminés) et élimination des déchets conformément aux prescriptions.
- Surveillance et contrôle de la qualité des installations de conditionnement de gravats et de tri de déchets de chantier tout-venant.
- Garantie de la qualité grâce à un bon niveau technique des installations.
- Transparence des modalités d'élimination au moyen de la «déclaration des voies d'élimination», en particulier lors des travaux de démolition [21].

### 3.3. Cas particulier de la gestion des déchets de démolition

Contrairement à la construction, la mise en valeur des résidus de démolition devrait, à première vue, être beaucoup plus facile puisque la démolition d'une structure, c'est l'affaire d'une seule entreprise. D'un autre côté, c'est l'activité qui demande le plus d'efforts pour la récupération puisque les résidus obtenus sont pêle-mêle, c'est-à-dire qu'on peut trouver un morceau de plâtre fixé à un morceau de bois, de la peinture sur des boiseries, etc. L'ampleur d'un projet de démolition est tout aussi variable que celle d'un projet de construction [26].

La gestion de ces déchets peut passer par quatre stratégies possibles :

1. Audit des matériaux avant démolition pour qualifier quantifier les différents types de déchets issus de la démolition
2. Identification des filières locales d'élimination de ces déchets : recyclage, réemploi, incinération, mise en dépôt...
3. Etablissement des projets de déconstruction/démolition intégrant le respect de la réglementation sur les déchets et proposant le degré de tri le plus approprié en termes économiques et techniques
4. Le suivi de l'élimination des déchets pour libérer le maître d'ouvrage de toute recherche ultérieure en responsabilité [29].

### 3.4. La déconstruction sélective

#### 3.4.1. Techniques et objectifs

La déconstruction sélective consiste à séparer et trier les matériaux résiduels lors des travaux de démolition afin d'améliorer leur qualité (non-contamination des matériaux avec d'autres matériaux) et de favoriser leur valorisation. Plusieurs projets de déconstruction ont

été menés à terme, au Canada, aux États-Unis et en Europe afin de démontrer que la déconstruction sélective est techniquement et économiquement réalisable.

La déconstruction sélective nécessite un grand nombre d'opérations et d'ouvriers, ainsi qu'un délai d'exécution relativement plus long. Comparativement à une démolition traditionnelle. En revanche, la déconstruction nécessite des outils très élémentaires (masques, marteaux, scies mécaniques, scies circulaires, leviers, génératrices, etc.) et donc non dispendieux, et produit des matériaux de qualité beaucoup plus faciles à valoriser ultérieurement. Les deux éléments-clés pour réussir un projet de déconstruction sont le temps et la planification, lesquels permettent de réduire la durée et le coût des travaux de démolition, d'augmenter la sécurité des personnes sur le chantier et d'améliorer la qualité et la quantité des matériaux destinés à être valorisés.

Il s'agit d'abord de déterminer la nature et la quantité des matériaux potentiellement récupérables et au cours de la phase de planification qu'on doit analyser les options de valorisation économiquement viables pour les différents matériaux produits par la déconstruction [26].

### **3.5.2. L'outil informatique**

Quand on a une banque de données fournissant les options de valorisation, ça nous permet de gagner beaucoup du temps lors de la déconstruction.

En 1995, La FNB et l'Ademe en France ont élaboré un outil informatisé concernant la déconstruction sélective. Pendant la même année, en Allemagne, l'IFARE /DFIU a développé un système informatisé qui déterminait l'enchaînement des différentes étapes de déconstruction, à partir des inventaires et des plans d'origine des bâtiments, avec les différentes données des matériaux de construction et les techniques du recyclage.

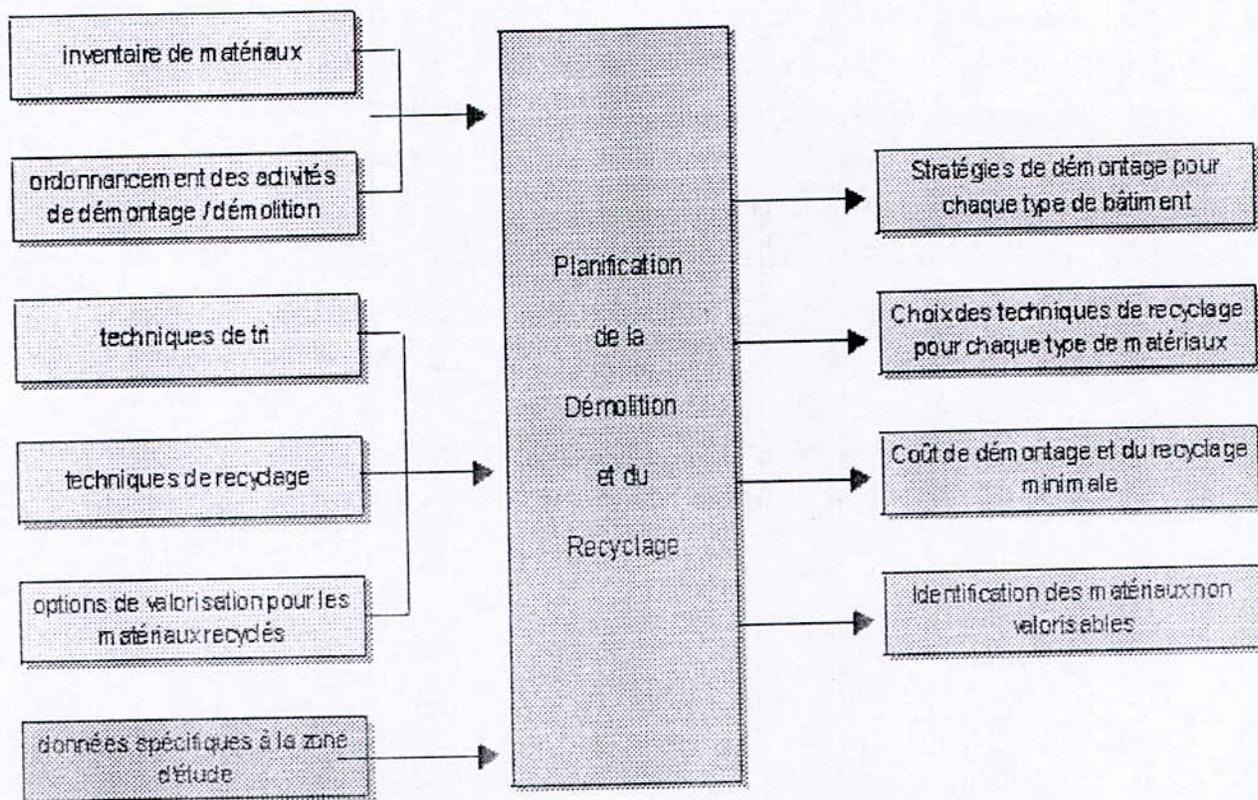
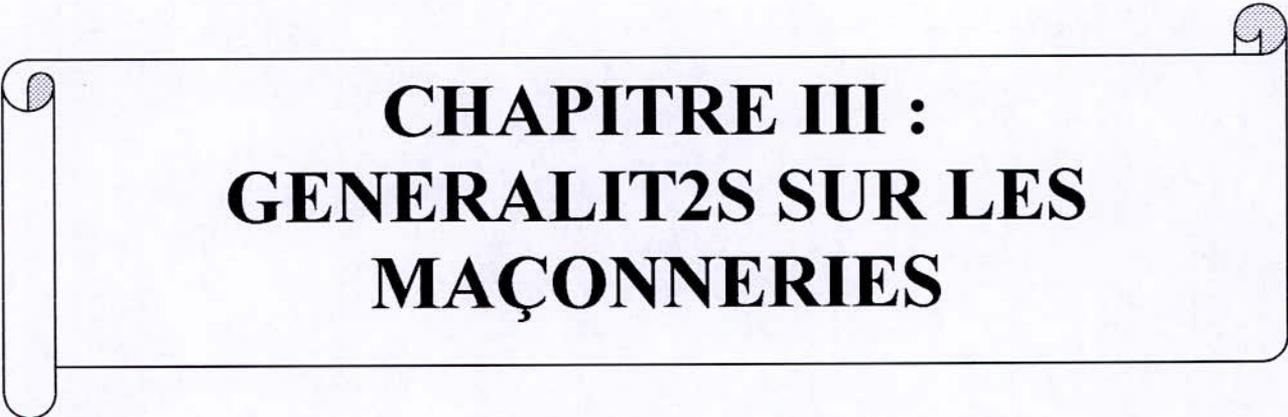


Fig. 2.7: Structure du modèle informatisé d'optimisation du démontage et de recyclage des déchets des bâtiments [7].

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

**CHAPITRE III :**  
**GENERALIT2S SUR LES**  
**MAÇONNERIES**

## 1. Introduction

La majorité des constructions en Algérie sont réalisées par la maçonnerie, pour cela il faut utiliser rationnellement les diverses techniques actuelles pour les adapter aux conditions économiques et environnementales. Donc il faut l'industrialisation de certaines branches de la maçonnerie par application des normes standard lors de la fabrication et la mise en œuvre des matériaux.

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 ;

En générale un mur est constitué par des briques plaines ou creuses plus un mortier de pose (de ciment ou de la chaux) et des enduits extérieurs et intérieurs. [14].

## 2. Les débris de maçonnerie [7].

Les débris de maçonnerie se trouvent généralement sous forme de déchets de béton, de briques silico-calcaires, de briques de terre cuite, de blocs de béton léger, mortiers de ciment, les enduits, les tuiles, etc.

### 2.1. Les débris de terre cuite

On peut distinguer deux types de ces débris générés de la fabrication des produits de terre cuite : les rebuts avant cuisson et après cuisson.

Les déchets générés avant la cuisson ne posent aucun problème puisqu'ils seront réintégrés dans le circuit des matières premières. Tandis que les déchets de cuisson, ils peuvent être :

- ❖ Utilisés pour empierre les chemins de voies de circulation des carrières de terre
- ❖ Broyés pour réaliser les revêtements des terrains de tennis

- ❖ Broyés et utilisés comme chamotte (la chamotte est l'un des dégraissants pour la préparation de l'argile).

Les briques cassées au cours de la fabrication ou après démolition seront concassées pour faire des granulats comme nous la verrons dans la partie expérimentale.

## 2.2. Les débris des produits silico-calcaire

Les briques silico-calcaire sont fabriquées par pressage et durcissement à la vapeur d'un mélange de sable, chaux pulvérisée et eau. Elles sont utilisées dans les éléments porteurs dans les structures de génie civil. Des recherches sur des débris des briques silico-calcaire concassés ont été faites et ont donné de bons résultats

## 3. La terre cuite

### 3.1. Généralités [30].

Les matériaux de terre cuite tels que : la brique, tuile, les conduits de fumée, les carreaux rustiques, des éléments de décoration et autres sont utilisés depuis plusieurs siècles dans le bâtiment et sont employés avec efficacité dans toutes les parties de la construction. 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.

### 3.2. Caractéristiques mécaniques et physiques [2].

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).

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, fragiles à cause de leur porosité. De plus, dans le cas des argiles calcaires, le départ du dioxyde de carbone dû à la décomposition du carbonate de calcium lors de la cuisson augmente la 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 et 12 MPa. Le module d'élasticité  $E$  croît avec la résistance à la compression et avec la température de cuisson, plus fortement après 1050°C ; 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 dans le cas des produits creux. La relation empirique suivante montre la relation entre la porosité ( $P$ ) et le module d'élasticité ( $E$ ):

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

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

Concernant les propriétés physiques, les terres cuites peuvent être le siège de variations dimensionnelles avec l'humidité. Deux genres de gonflement peuvent y intervenir : le premier se fait par hygroscopicité dès la sortie du four et n'entraîne généralement pas de désordres particuliers sur les ouvrages puisque c'est seulement quelques dixièmes de millimètres par mètre. Le deuxième qui est danger 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, c'est la résistance au gel, elle est mesurée comme étant la perte de masse sous l'effet de cycles répétés de gel et de dégel. Elle est non seulement liée au volume des vides mais aussi au diamètre des pores, là où le volume d'eau augmente en produisant l'éclatement. Une bonne résistance de la terre cuite à la compression implique toujours sa bonne résistance au gel.

## 4. Les mortiers

### 4.1. Généralités [32].

Les ciments en pâte pure sont très peu utilisés sur le chantier, leur emploi est limité à quelle que travaux nécessitant une prise et une étanchéité parfaite. Il n'est pas possible de faire des constructions en pâte de ciment pure car, une telle construction présentait des déformations très importantes et un retrait accentué. C'est pour cette raison que l'on utilise des mortiers de béton hydrauliques. Toutefois, la pâte pure de chaux ou de ciment est utilisée dans certains cas plus particuliers.

### 4.2. Etude des qualités d'un mortier [14].

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.

### 4.3. Constitution des mortiers

Un mortier est un mélange de liant, de sable et d'eau, réalisé de manière à obtenir une pâte de plasticité convenable pour la mise en œuvre et de la prise correcte de ciment. Comme pour les bétons des ajouts viennent en modifier les propriétés, essentiellement dans le domaine des mortiers industriels. [32].

#### 4.3.1. Les liants [14].

##### a- le ciment

Le ciment utilisé est, dans la plupart des cas, du ciment Portland avec ou sans constituant secondaire parce qu'ils sont les plus importants en matière de liant hydraulique. On utilise : le (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

Les liants hydrauliques constituent la classe principale des liants qui ont la propriété d'avoir des constituants fins faisant une pâte avec l'eau et s'agglomérer, et de durcir. Parmi les liants hydrauliques on distingue :

1. Les chaux aériennes
2. Les chaux hydrauliques naturelles
3. Les chaux hydrauliques artificielles

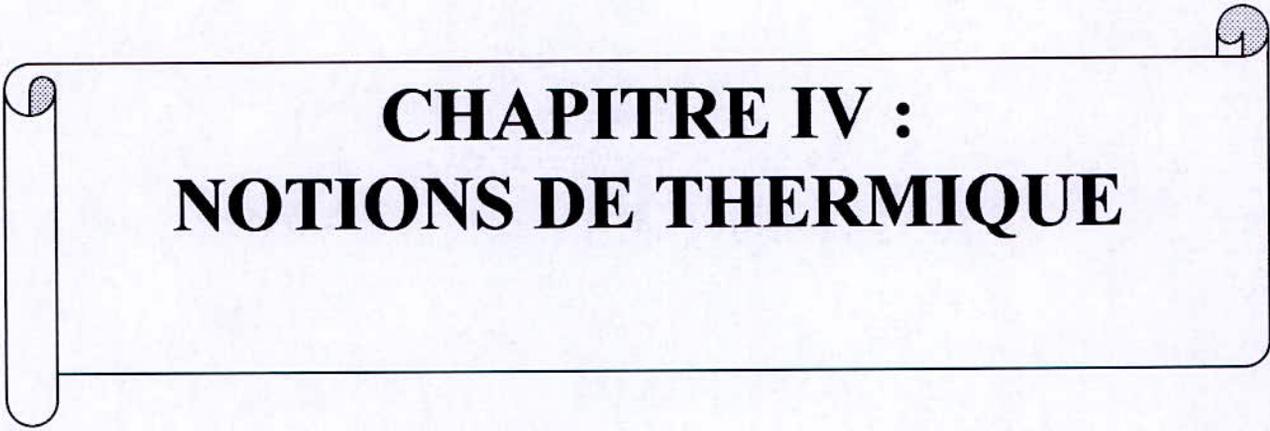
### 4.3.2. Les sables

Les sables constituent l'agrégat essentiel dans la fabrication des mortiers. Ils sont constitués des grains qui sont intermédiaires entre les filles et les gravillons, on générale les sables utilisés pour la confection des mortiers ont une granulométrie de 0/3 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.

Dans notre travail, nous avons utilisé deux types de sable :

- Sable de dune pour les essais thermiques
- Sable de mer pour les essais mécaniques

A decorative border resembling a scroll or a ribbon, with rounded corners and a slight shadow effect, framing the chapter title.

**CHAPITRE IV :**  
**NOTIONS DE THERMIQUE**

## 1. Les propriétés thermiques des matériaux

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 [25]. 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 [34].

## 2. Quelques définitions de thermique [25], [34]

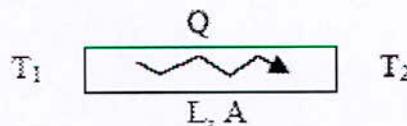
### 2.1. La température [25].

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, ...) [34].

#### - 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 [7].
- ◆ La conductivité est la propriété physique intrinsèque des matériaux. Pour les matériaux du bâtiment, la détermination de  $\lambda$  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) [25].

Le tableau N° 4.1 donne quelques valeurs de la conductivité thermique ( $\lambda$ ) 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.4.1 : Valeurs moyennes de conductivité thermique de différents types de matériaux ou produits [38].**

### 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.

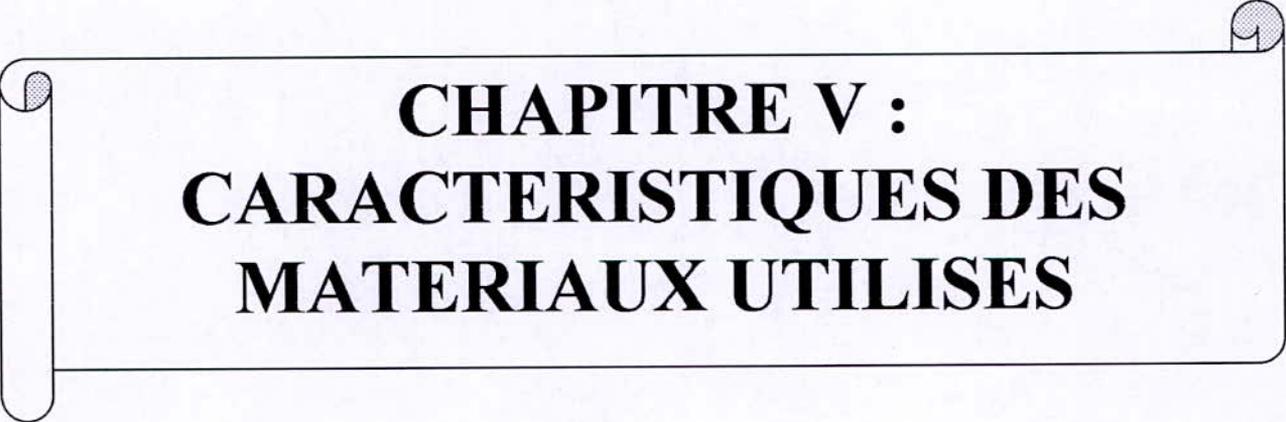
### 2.4. Le rayonnement

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 [34].

## 3. Résistance des maçonneries de briques à l'action des intempéries [16].

Certaines briques n'ont pas bien résisté à l'agression des agents atmosphériques. Pour cela, les briques trop poreuses, moins résistantes que d'autres ont été érodées sous l'action conjuguée de l'humidité et du gel répété. Généralement, cette dégradation se trouve aux ouvrages exposés aux intempéries, sur les souches de cheminée et aux pieds des murs.

En effet, un mur plein en briques doit avoir une épaisseur supérieure à 35 cm environ pour assurer une protection efficace contre le bruit et les changements de température extérieure.



**CHAPITRE V :  
CARACTERISTIQUES DES  
MATERIAUX UTILISES**

## 1. Granulats

Notre travail nécessite des granulats naturels et autres recyclés. Concernant les granulats naturels, nous avons utilisés deux types de sables : un sable de mer et un sable de dune. En ce qui concerne les granulats recyclés, nous avons fabriqués trois types à l'aide d'un concasseur à cylindres, à savoir : un sable recyclé issu du concassage des débris de briques, un autre issu du concassage des débris de mortier de ciment à base du sable de mer et le dernier type qui est dû au concassage des débris de mortier de ciment à base du sable de dune. Après concassage, les granulats ont été criblés d'obtenir une fraction granulaire du sable, qui est de 0/3. Nous avons choisis les désignations suivantes :

- ◆  $S_{NM}$  : sable naturel de mer (0/3) ;
- ◆  $S_{ND}$  : sable naturel de dune (0/3) ;
- ◆  $S_{RM}$  : sable recyclé issu du concassage de débris de mortier de ciment à base du sable de mer (0/3) ;
- ◆  $S_{RD}$  : sable recyclé issu du concassage de débris de mortier de ciment à base du sable de dune (0/3) ;
- ◆  $S_{RB}$  : sable recyclé issu du concassage de débris de terre cuite (0/3) ;

Voici des photos vidéomicroscopiques de quelques granulats parmi les granulats étudiés :

- ❖  $S_{NM}$  : sable naturel de mer (0/3) ;

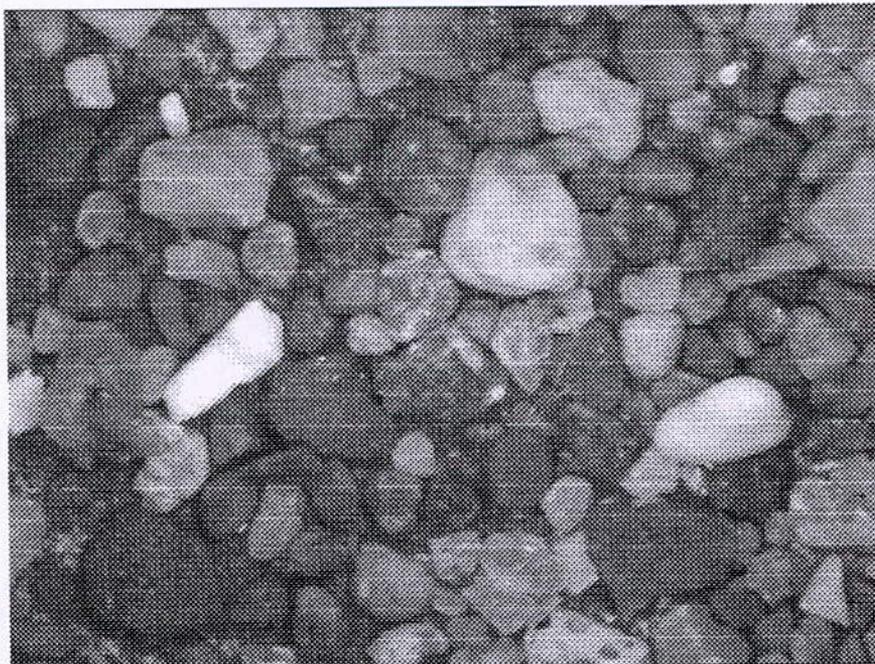


Fig. 5.1: Vue du sable naturel ( $S_{NM}$ ) prise avec le vidéomicroscope ( $\times 50$ ) [2]

- $S_{RM}$  : Sable recyclé issu du concassage de mortier de ciment à base du sable de mer (0/3) ;



Fig.5.2: Vue de  $S_{RM}$  prise avec le vidéomicroscope ( $\times 50$ ) [2]

- $S_{RB}$  : Sable recyclé issu du concassage de débris de terre cuite (0/3) ;



Fig. 5.3: Vue de  $S_{RB}$  prise avec le vidéomicroscope ( $\times 25$ ) [2]

## 2. Ciment [35]

Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II A 32.5 (similaire au CPJ 45).

Ce ciment provient de la SOCIETE DES CIMENTS DE LA MITIDJA (MEFTAHLIDA) et il est livré dans des sacs de 50 kg, dont ces caractéristiques sont les suivantes:

### 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.

### 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 <sub>2</sub>	21.01	*
CaO	63.89	*
MgO	1.10	< 5.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.07	*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.40	*
SO <sub>3</sub>	2.42	< 4.0
P.F	1.46	*
CaO libre	0.23	*
R.lns	1.15	*
Cl <sup>-</sup>	0.013	< 0.05
Na <sub>2</sub> O	0.25	*
K <sub>2</sub> O	0.765	*

\* Non normalisé.

Tableau.5.1 : Analyse chimique du ciment

### 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 <sup>2</sup> /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.

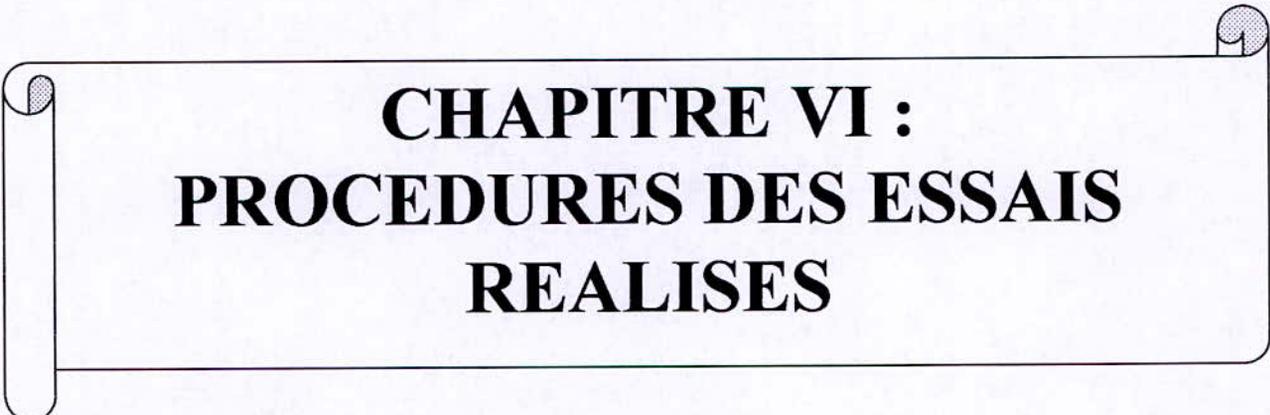
Tableau.5.2 : Analyse physico-mécaniques du ciment

### 3. Eau de gâchage

Pour la confection des différentes éprouvettes expérimentales thermiques et mécaniques, nous avons utilisé une eau de gâchage potable ordinaire de robinet sans traitement supplémentaire.

### 4. Confection du mortier

Tout d'abord, 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 4x4x16 cm (destinés aux essais mécaniques) ou dans des moules 8x4x16 cm (destinés aux essais thermiques). On fait alors subir à ces éprouvettes une série de vibrations plus piquage. Puis la surface du mortier est nivelée au ras des bords à l'aide d'une règle métallique plate. Après démoulage des éprouvettes à 24 heures, la conservation se fait soit dans l'eau, soit à l'air dans une armoire de conservation à la température de 20°C ± 1°C avec une humidité relative de 65% ± 5% jusqu'au jour de l'essai. En ce qui nous concerne, la conservation s'est faite dans l'eau.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical line on the left and a horizontal line at the top and bottom. The top corners are rounded and feature a small circular detail.

**CHAPITRE VI :**  
**PROCEDURES DES ESSAIS**  
**REALISES**

## 1. Equipements nécessaires

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

- **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 de la masse volumique réelle d'un granulat, ainsi que l'absorption d'eau. Il est composé d'un erlenmeyer à col rodé et d'un tube capillaire.
- **Vibro-broyeur à disque** : pour le broyage ultra fin, rapide, sans perte de masse et sans pollution extérieure de matériaux divers : ciments, béton, clinker, ...  
Temps de broyage extrêmement court. Broyage sec et à l'état humide [36].

En laboratoire, les mortiers doivent être confectionnés et caractérisés à l'aide d'un équipement standard dont ils sont décrits de manière détaillée par la norme EN 196-1 [43].

- **Moules** : un moule en acier rectifié de trois alvéoles 4x4x16 cm pour essai de compression et de flexion : selon NF EN 196-1 [36].
- **Maniabilimètre à mortier** : selon NF P 18-452, NF EN 413-2 : pour déterminer la maniabilité dynamique des mortiers de béton. L'appareil est constitué d'un compartiment partagé en deux volumes inégaux par une paroi amovible [36].
- **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  $2400 \text{ N/s} \pm 200$ .
- **Malaxeur** : Il comporte une palette arrivée d'un mouvement planétaire susceptible de fonctionner à deux vitesses (dites lente et rapide) : (140 et 285) tr/mn.

**NB** : voir annexe

## 2. Essais d'identification des matériaux

Le sable est un matériau important qui entre comme constituant dans la confection des mortiers et son choix influe beaucoup sur leurs caractéristiques comme le dosage en matière liante et des conditions de préparation. Pour cela, cet échantillon doit être soumis à un certain nombre d'essais normalisés. La réalisation des essais sur les granulats a pour but d'identifier les différents sables, ainsi pour faire la comparaison entre les sables naturels et les sables recyclés. Le tableau ci-dessous nous donne les différents essais réalisés ainsi la norme utilisée pour chaque essai :

Travaux, essais ou analyses	Norme	S <sub>N</sub> 0/3	S <sub>R</sub> 0/3
Absorption capillaire	NF P 18-555 Déc. 90	X	X
Equivalent de sable	NF P 18-598 Oct. 91	X	X
Analyse granulométrique	NF P 18-560 Sept. 90	X	X
Module de finesse	Mode opératoire	X	X
Masse volumique	Mode opératoire	X	X

Tableau .6.1 : Essais effectués sur les matériaux

**Remarque :** la lettre « X » indique que l'essai en question est réalisé.

### 2.1 Analyse granulométrique [39]

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un sable en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimension des granulats et choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue. Les résultats sont exploités sous une forme graphique (courbe granulométrique). L'essai est effectué conformément à la norme française P18-560. Le résultat de cette analyse est représenté sous la forme d'une courbe.

### 2.2 Module de finesse [7]

Le module de finesse est une caractéristique essentielle pour les sables qui décrit sa grosseur. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse:  $2.2 \leq M_f \leq 2.8$ , un sable fin a un module de finesse :  $1.8 \leq M_f \leq 2.2$  et un sable grossier a un module de finesse :  $2.8 \leq M_f \leq 3.2$ . Le module de finesse d'un granulat est égal au Centième de la somme des refus cumulés aux tamis suivants : 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5 et 5mm. C'est une caractéristique intéressante car, elle permet le calcul rapide de la correction d'un sable, à condition de la rattacher à un tracé granulométrique.

### 2.3 Masses volumiques [37]

La masse volumique en vrac d'un granulat léger est sa caractéristique la plus fondamentale, car elle a des conséquences directes et importantes sur les performances des mortiers et bétons fabriqués, et donc sur les utilisations possibles. La masse volumique du grain dépend légèrement du mode opératoire.

L'expérience est de déterminer le volume (en vrac, apparent ou réel) occupé par une masse sèche  $M$  du matériau à tester. La difficulté est liée à la masse du volume qui diffère suivant qu'il s'agit du volume en vrac, apparent ou réel. Quant à la masse  $M$ , sa détermination ne présente en général aucune difficulté (simple pesée à l'air). La mesure de la masse volumique apparente (en vrac) de l'échantillon a été déterminée selon la méthode de l'entonnoir. La masse volumique absolue a été mesurée à l'aide d'un pycnomètre en verre.

Précisons le séchage de l'eau superficielle sur les grains s'effectue à l'aide d'un séchoir. Pour ce qui nous concerne, on l'a laissé une journée au soleil.

### 2.4 Absorption d'eau [40]

Cet essai a été effectué conformément à la norme française P 18-555. Pour cela, un échantillon de sable est plongé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique normale. A l'issue des 24 heures, on effectue sa pesée. Puis on calcule l'augmentation de masse par rapport à sa masse sèche. Enfin on obtient le coefficient d'absorption d'eau en effectuant le rapport de l'augmentation de masse à la masse sèche initiale.

### 2.5 Compacité et porosité [42]

La porosité est le rapport du volume des vides au volume réel de l'échantillon. La porosité et la compacité ont des valeurs complémentaires (somme égale à 1), c'est-à-dire que la compacité est le volume plein du matériau sur le volume apparent. Notons que les différents volumes ont été déterminés à partir des masses volumiques des sables données dans le chapitre (VI).

### 2.6 Equivalent de sable [41]

A pour principe de déterminer le pourcentage de sable propre par rapport au total du sable, et des impuretés qui se présentent sous forme de fines, de tel sorte que de faibles quantités d'impuretés font baisser la valeur de l'équivalent de sable. Il est réalisé conformément à la norme NF P 18 - 598. L'essai est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carré de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité des éléments fins ; en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les sédiments sableux et les éléments fins qui flocculent.

## 3. Essais mécaniques de mortiers à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de mortier de ciment

L'objectif de cette étude est d'utiliser des différentes proportions en mélange entre le sable naturel et le sable recyclé de la fraction granulométrique 0/3 issue du concassage de débris de mortier de ciment en utilisant que du sable de mer pour

confectionner des éprouvettes de mortiers (4x4x16cm) le but de l'ajout du sable naturel est d'améliorer notre sable recyclé. De nombreux essais ont été effectués, sur :

- ❖ Les propriétés rhéologiques,
- ❖ Les caractéristiques mécaniques (résistances à la compression et à la traction par flexion après cure dans l'eau à 7 jours et à 28 jours),
- ❖ Les propriétés physiques :
  - L'absorption d'eau par capillarité.
  - La masse volumique aux diverses échéances.

### 3.1 Essai 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 [43]

L'essai permet de déterminer la contrainte de traction d'un mortier. Il est mené conformément à la norme européenne EN 196-1. 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 tel-que : ( $L = 100\text{mm}$ ).  $E_t$

$R_t$  : Résistance à la traction en  $\text{MPa}$ .

$F_t$  : Charge à la rupture en N.

$b$  : Largeur de la section carrée du prisme en mm ( $b = 40 \text{ mm}$ ).

Pour notre cas, la valeur de la résistance à la traction par flexion est directement lue sur une réglette graduée placée sur le bras de la machine de flexion et elle exprimée en  $\text{dN/cm}^2$ .

### 3.3 Essai de résistance à la compression [43]

L'essai consiste à comprimer jusqu'à écrasement un échantillon du matériau étudié. Il est mené conformément à la norme EN 196-1. 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. 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  $16 \text{ cm}^2$  ( $4 \times 4 \text{ cm}$ ). L'augmentation de la charge se fait automatiquement et la force de rupture est indiquée en Kg par une aiguille supplémentaire qu'on doit remettre à zéro après chaque essai. La résistance à la compression est donnée par la relation suivante :

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

$R_c$  : 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 :

#### Plateau d'application de la compression

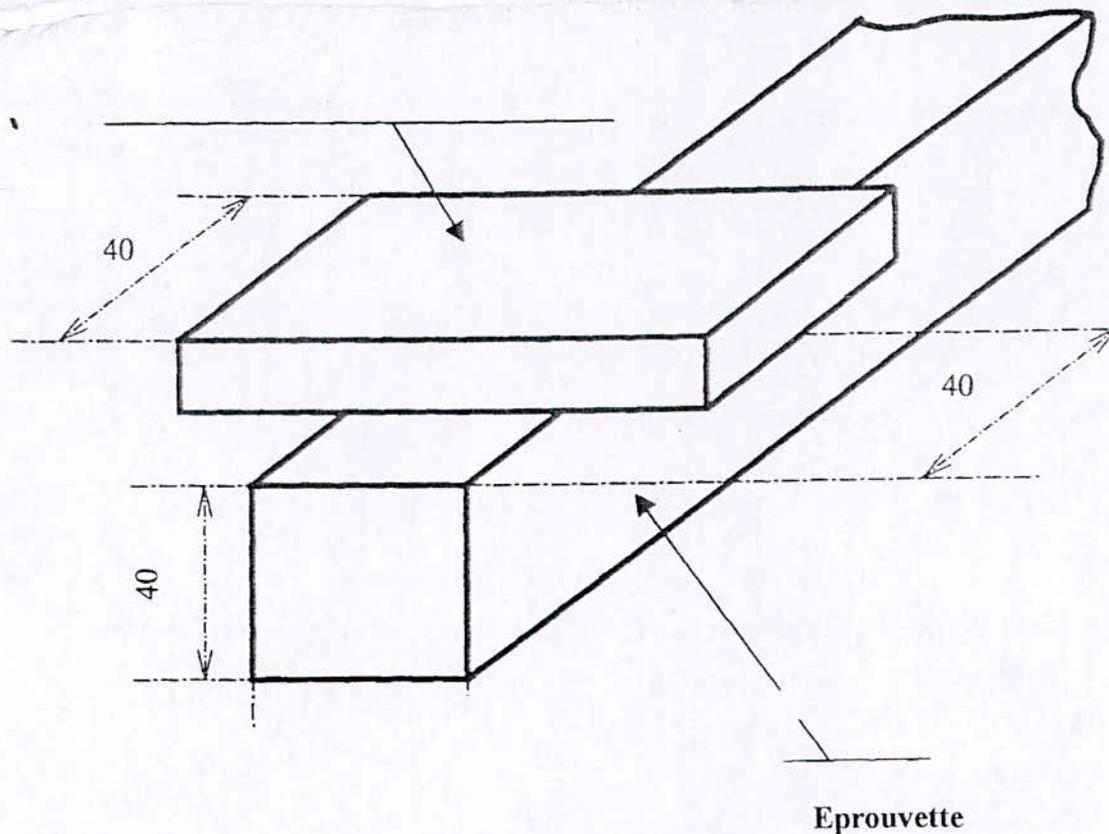


Fig. 6.1 : Dispositif de l'écrasement à la compression

### 3.4 Essai D'absorption capillaire [44]

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. 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.

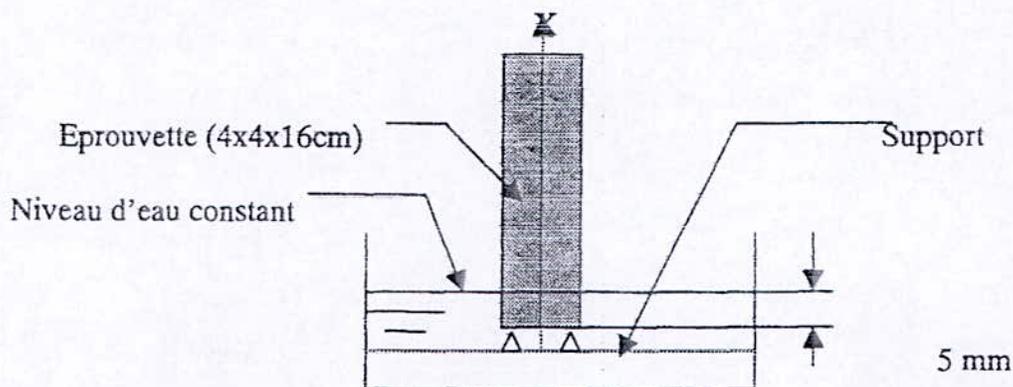


Fig. 6.2 : Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire

A chaque échéance, 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.

$M_i$  : 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  $1600 \text{ cm}^2$ .

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

## 4. Essais thermiques de mortiers à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de mortier de ciment et de mortiers à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de terre cuite

La forte porosité des mortiers à base des sables recyclés et ses faibles résistances mécaniques obtenues comparativement aux mortiers à base des sables naturels nous ont ramené à penser vis-à-vis leurs caractéristiques thermiques à savoir le phénomène de la conductivité thermique. Pour cette raison, nous avons effectués des essais de la conductivité thermique à l'aide d'un appareil : CT Métré spécialisé pour ce travail.

### 4.1 But et méthode de mesure de la conductivité thermique [38]

Le CT Métré est un nouvel appareil de mesure rapide, des caractéristiques thermiques, des matériaux homogènes et isotropes. Il est aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer les caractéristiques thermiques d'un certain nombre de matériaux avec précision, tels que :

- la brique,
- les roches, la terre, etc....
- le béton cellulaire,
- le bitume,
- les substances en poudre,
- les liquides, etc....
- les résines ou produits complexes.

Le principe e fonctionnement, consiste à mesurer l'élévation de température subie par le capteur au cours d'une période de chauffage choisie par l'utilisateur en fonction du matériau à tester et du type de sonde utilisée. Tout ça se fait grâce à l'association d'un élément chauffant et d'un capteur de température (tous deux associés dans la même sonde).

NB : voir annexe

### 4.2 Fonctionnement du CT Métré et procédure de l'essai [38]

L'opération nécessite une sonde : circuit imprimé souple (épaisseur 0.2 mm), destiné à s'insérer entre deux morceaux plans (éprouvettes 4x8x16) de l'échantillon à mesurer.

Il existe deux modes dont il nous faut accéder lors de notre essai, à savoir :

- ◆ mode « programmation »
- ◆ mode « exécution »

Tout d'abord, pour accéder au mode programmation, écriture ou lecture, il suffit de positionner la clé sur **PROGRAMMATION**. En ce mode, on ne peut sortir qu'en fin de cycle, contrairement au mode exécution qui peut être interrompu à tout moment par la touche « C ». Ensuite, on doit valider les paramètres de programmation des sondes par la touche **ENTR**. Il existe deux types de sondes à savoir :

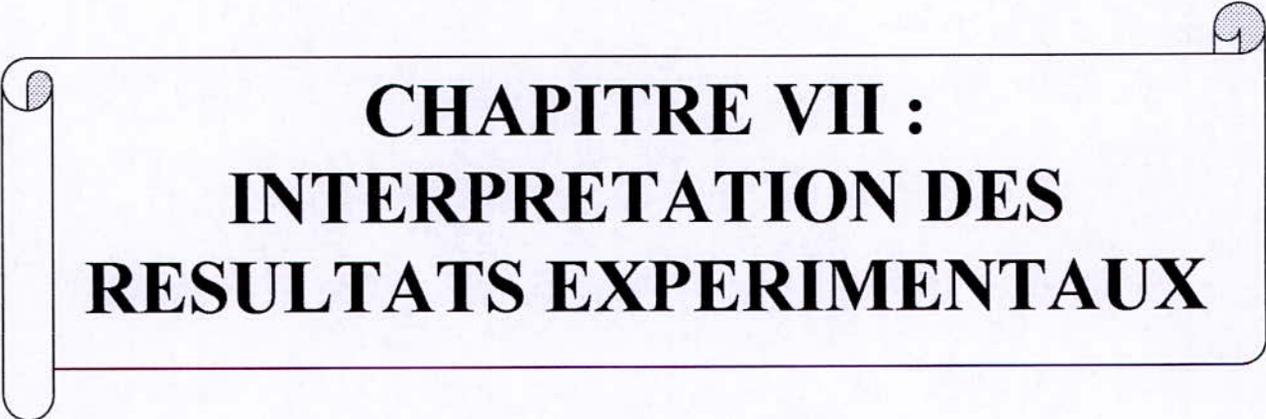
➤ **sonde anneau**: elle donne :

Conductivité thermique W/m.K  
Chaleur spécifique kJ/m<sup>3</sup>K  
Température de départ °C  
Variation max. de température °C  
Coefficient d'ajustement %

➤ **Sonde fil (ou monotige)**: donne :

Conductivité thermique W/m.K  
Coefficient de corrélation

Finalement, après un certain temps juste après le mode « exécution », la valeur ( $\lambda$ ) de la conductivité thermique est lu directement sur l'écran et est acceptable si la différence de température dT soit comprise entre 10 et 15 °C.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the bottom, both with rounded ends. The text is centered within this border.

**CHAPITRE VII :  
INTERPRETATION DES  
RESULTATS EXPERIMENTAUX**

## 1. Résultats et interprétations des essais effectués sur les sables

Au cours de notre expérimentation, nous avons utilisé deux sables naturels (marin et de dune) et trois sables recyclés pour la confection des éprouvettes de mortier. Alors il a été nécessaire de les identifier en les effectuant des essais au laboratoire à savoir : analyse granulométrique, module de finesse, absorption d'eau, compacité, porosité et équivalent de sable.

### 1.1. Sable recyclé issu du concassage de mortier de ciment à base de sable marin

#### 1.1.1. Analyse granulométrique par tamisage

Les courbes granulométriques correspondant aux deux sables (naturel marin et sable recyclé de mortier de ciment à base du sable marin) sont représentées dans la figure suivante :

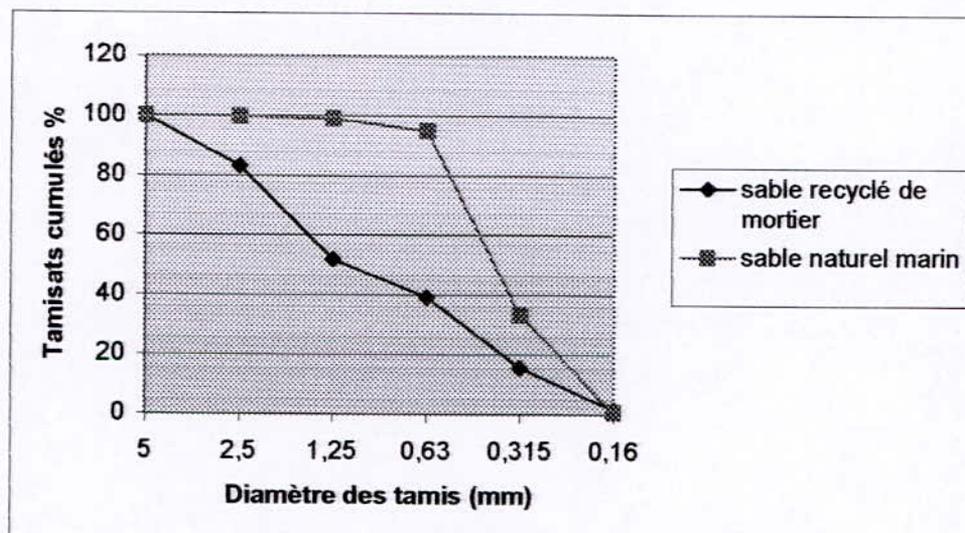


Fig. 7.1 : courbes granulométriques des deux sables

#### Commentaires :

Les courbes granulométriques montrent que les deux sables ont des granulométries différentes. Le sable naturel est composé de plus d'éléments fins de diamètres compris entre 0.16 et 0.63 mm que le sable recyclé, avec un pourcentage de 94%. Par contre le sable recyclé a une granulométrie plus continue. Néanmoins, le sable naturel contient un pourcentage d'éléments fins de diamètre inférieur ou égale à 0.16 mm égale à 0.5% qui est moins élevé à celui du sable recyclé (1.5%). Ceci est dû principalement à l'effet du concassage du mortier de ciment confectionné à base de ce sable, qui est plutôt friable et donc cela a engendré une quantité importante de fines de diamètre inférieur à 0.16 mm. On peut déterminer les coefficients de friabilité des deux sables selon la norme française P18-576.

### 1.1.2. Module de finesse

Les différents résultats concernant les modules de finesse des sables sont récapitulés dans le tableau suivant :

Echantillon	Module de finesse	Observation
sable recyclé	3.08	$2.8 < M_f \leq 3.2 \rightarrow$ sable grossier
sable naturel	1.7	$M_f < 1.8 \rightarrow$ il peut être considéré comme un sable très fin.

Tableau. 7.1 : Modules de finesse des deux sables

#### Commentaires :

Le sable naturel de mer est considéré comme un sable très fin. Au contraire, le sable recyclé est un sable grossier du fait qu'il résulte d'une opération de concassage plus ou moins efficace. Cette grossièreté est un avantage du point de vue résistance des mortiers et des bétons, mais du point de vue mise en oeuvre, elle risque d'y avoir ségrégation plus facilement. Toutefois, les deux sables sont acceptables pour la confection de bétons et de mortiers.

### 1.1.3. Masses volumiques

Les différents résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Echantillon	Masse volumique apparente $t/m^3$	Masse volumique absolue $t/m^3$
sable naturel	1.43	2.60
sable recyclé	1.20	2.39

Tableau. 7.2 : Masses volumiques des deux sables

#### Commentaires :

D'après ces résultats, on remarque que les masses volumiques des granulats recyclés sont nettement plus faibles que celles des granulats naturels. Cette différence est due principalement à la porosité élevée du sable recyclé qui est constitué d'agglomérés de ciment. Ces résultats confirment la tendance observée par d'autres auteurs [2], [7].

#### 1.1.4. Compacité et porosité

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Echantillon	Porosité %	Compacité %
sable naturel	45	55
sable recyclé	49	51

Tableau. 7.3 : Valeurs de la compacité et la porosité des deux sables

#### Commentaires :

D'après les résultats obtenus on remarque que le sable naturel est plus compact que le sable recyclé, d'environ 7 %, ce qui montre la plus grande porosité du sable recyclé par rapport au sable naturel.

#### 1.1.5. Equivalent de sable

Les valeurs de l'équivalent de sable des deux matériaux sont les suivantes :

Echantillon	Equivalent de sable	Critère de la norme
sable naturel	98%	$\geq 70$
sable recyclé	89%	$\geq (65 \text{ et } 60 \text{ pour les sables concassés et broyés})$

Tableau. 7.4 : Equivalents de sable des trois sables

#### Commentaires :

On remarque que chacun des deux sables a un équivalent de sable conforme à la limite exigée par la norme NF P 18-598 [41]. Donc les deux sables sont propres et sont admis pour la confection de béton et de mortier.

### 1.1.6. Absorption d'eau

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau suivant :

Type de sable	Coefficient d'absorption d'eau (%)
Sable naturel marin	0.70
Sable recyclé de mortier	3

Tableau. 7. 5 : Absorption d'eau des deux sables

#### Commentaires :

D'après les résultats obtenus, on note que le sable recyclé absorbe beaucoup plus d'eau que le sable naturel car on a obtenu un coefficient d'absorption d'eau du sable recyclé supérieur de près de 4 fois. Cela est dû au fait de la grande porosité du sable recyclé. Donc on peut dire que ce dernier a un caractère hydrophile et qu'il faudrait une plus grande quantité d'eau de gâchage pour la confection de béton et mortier à base de sable recyclé.

## 1.2. Sable recyclé issu du concassage de mortier de ciment à base du sable de dune

### 1.2.1. Analyse granulométrique

Les courbes granulométriques correspondant aux deux sables (naturel de dune et sable recyclé de mortier de ciment à base du sable de dune) sont représentées dans la figure suivante :

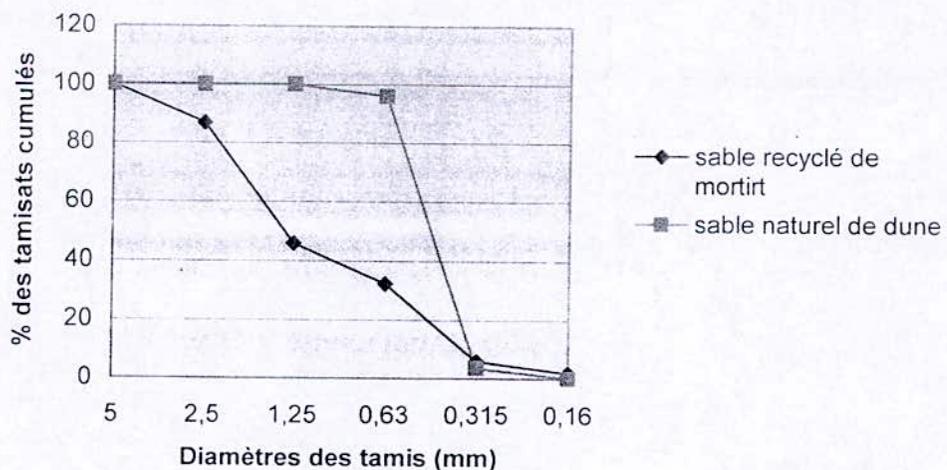


Fig.7.2 : courbes granulométriques des deux sables

**Commentaires :**

La différence entre les granulométries des deux sables ci-dessus est presque similaire à celle des deux derniers sables (naturel marin et recyclé de mortier à base du sable marin). Le sable naturel se compose de plus d'éléments fins de diamètre compris entre 0.315 et 0.630mm avec un pourcentage de 96%. Par contre le sable recyclé est plutôt un sable grossier et a une courbe granulométrique représentant une décroissance continue. Le sable recyclé présente un pourcentage d'éléments fins de diamètre inférieur à 0.16 mm d'environ 1.95 %, tandis que le sable naturel de dune contient seulement 0.15% de cette fraction de fines. Ceci est dû principalement à l'effet du concassage du mortier de ciment confectionné à base de ce sable, qui est plutôt friable et donc cela a engendré une quantité importante de fines de diamètre inférieur à 0.16 mm. Aussi bien, le sable naturel de dune comprend plus d'éléments de diamètre intermédiaire (0.63mm-0.315mm) que le sable recyclé de mortier de sable naturel.

**1.2.2. Module de finesse**

Les différents résultats concernant les modules de finesse des sables sont récapitulés dans le tableau suivant :

Echantillon	Module de finesse	Observation
sable recyclé	3.2	$2.8 < M_f \leq 3.2 \rightarrow$ sable grossier
sable naturel	2.002	$1.8 < M_f < 2.2 \rightarrow$ sable fin

Tableau. 7.6 : Modules de finesse des deux sables

**Commentaires :**

Des résultats ci-dessus sont presque analogues à ceux du recyclé de mortier de sable marin. Le sable recyclé est un sable grossier du fait qu'il résulte d'une opération de concassage plus ou moins efficace. Cette grossièreté est un avantage du point de vue résistance des mortiers et des bétons, mais du point de vue mise en oeuvre, elle risque d'y avoir ségrégation plus facilement. Toutefois, ces deux sables sont acceptables pour la confection de bétons et de mortiers.

**1.2.3. Masses volumiques**

Les différents résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Echantillon	Masse volumique apparente $t/m^3$	Masse volumique absolue $t/m^3$
sable naturel	1,50	2.57
sable recyclé	1.26	2.49

Tableau. 7.7 : Masses volumiques des deux sables

Commentaires :

Pour ce cas de figure, on remarque toujours la légèreté des masses volumique du sable recyclé par rapport au sable naturel. Cette différence est due principalement à la porosité élevée du sable recyclé qui est constitué d'agglomérés de ciment.

D'autre part on voit que le sable recyclé a une masse volumique apparente plus faible que celle du sable naturel de dune, cela est dû au fait que le sable recyclé est considéré comme un sable grossier (porosité très élevée).

Enfin, les résultats obtenus pour le sable recyclé sont équivalents à celles du sable recyclé de mortier de sable de mer.

**1.2.4. Compacité et porosité**

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Echantillon	Porosité %	Compacité %
sable naturel	41.6	58.4
sable recyclé	49,2	50,8

Tableau. 7.8 : Valeurs de la compacité et la porosité des deux sables

Commentaires :

D'après les résultats obtenus ci-dessus, on remarque que le sable naturel est plus compact que le sable recyclé, ce résultat n'est pas logique du point de vue théorique, peut être qu'il est dû à une erreur de manipulation.

**1.2.5. Equivalent de sable**

Les valeurs de l'équivalent de sable des deux matériaux sont les suivantes :

Echantillon	Equivalent de sable	Critère de la norme
sable naturel	85.60%	$\geq 70$
sable recyclé	89%	$\geq (65 \text{ et } 60 \text{ pour les sables concassés et broyés})$

Tableau. 7. 9: Equivalents de sable des trois sables

**Commentaires :**

On remarque que chacun des deux sables a un équivalent de sable conforme à la limite exigée par la norme NF P 18-598. Donc les deux sables sont propres et sont admis pour la confection de béton et de mortier.

**1.2.6. Absorption d'eau**

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau suivant :

Type de sable	Coefficient d'absorption d'eau
Sable naturel de dune	0.29
Sable recyclé de mortier	4

Tableau. 7.10 : Absorption d'eau des deux sables

**Commentaires :**

D'après les résultats obtenus, on note remarque que le sable recyclé absorbe beaucoup plus d'eau que le sable naturel car on a obtenu un coefficient d'absorption d'eau du sable recyclé supérieur de près de 4 fois. Cela est dû au fait de la grande porosité du sable recyclé qui s'avère hydrophile. Donc on peut dire que ce dernier nécessite une plus grande quantité d'eau de gâchage pour la confection de béton et mortier à base de sable recyclé par rapport au sable naturel.

### 1.3. Sable recyclé issu du concassage de débris de terre cuite

#### 1.3.1. Analyse granulométrique par tamisage

La figure suivante schématise la courbe granulométrique correspondant au sable recyclé de terre cuite et à côté les courbes granulométriques des deux sables naturels en vue de comparer et interpréter les résultats obtenus :

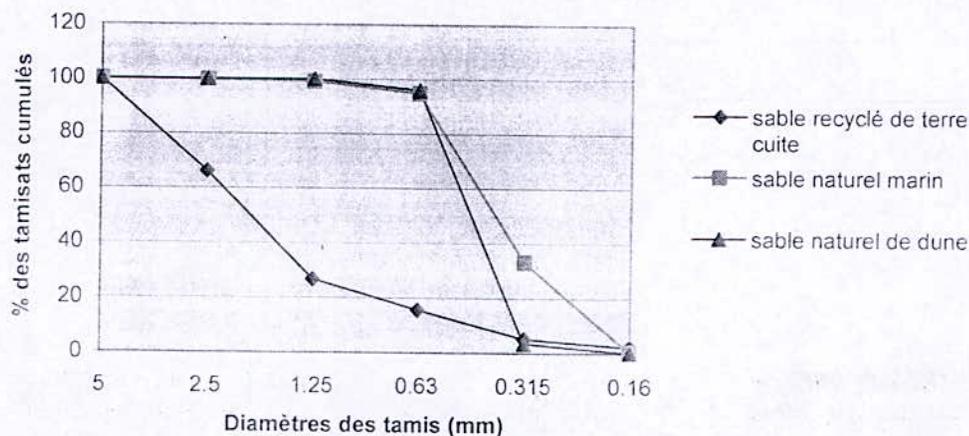


Fig.7.3 : Distributions granulométriques des trois sables

#### Commentaires :

Dans ce cas de figure, on observe aussi une granulométrie plus ou moins continue du sable recyclé. La fameuse remarque concernant ce sable est bien le pourcentage des éléments fins de diamètre inférieur à 0.16 mm (c'est d'environ 2.3%), et c'est une valeur élevée comparativement aux deux autres sables naturels (0.5 et 0.15 %) et mêmes aux deux autres sables recyclés (1.95 et 1.5 %). Ceci est dû principalement à l'effet du concassage de la brique qui est caractérisée par sa grande friabilité et donc cela a engendré une quantité importante de fines de diamètre inférieur à 0.16 mm.

#### 1.3.2. Module de finesse

Echantillon	Module de finesse	Observation
sable naturel marin	1.7	$M_f < 1.8 \rightarrow$ il peut être considéré comme un sable fin.
sable naturel de dune	2.002	$1.8 < M_f < 2.2 \rightarrow$ sable fin
sable recyclé de brique	2.98	$2.8 < M_f < 3.2 \rightarrow$ sable grossier

Tableau. 7.11 : Modules de finesse des trois sables

**Commentaires :**

Dans ce cas là, le sable recyclé de brique paraît comme un sable grossier -d'autres chercheurs [7] ont trouvé une valeur de  $M_f$  égale à 2.36, ça veut dire un sable recyclé de brique bon et conforme du point de vue granulométrique pour une utilisation en béton ou en mortier-. Pour notre cas, on acceptera l'utilisation du sable recyclé pour la confection de béton et de mortier.

**1.3.3. Masses volumiques**

Les différents résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Echantillon	Masse volumique apparente $t/m^3$	Masse volumique absolue $t/m^3$
sable naturel marin	1.43	2.6
sable naturel de dune	1,50	2.57
sable recyclé	1.05	2.23

**Tableau. 7.12 : Masses volumiques des trois sables**

**Commentaires :**

Pour ce cas de figure, on remarque toujours la légèreté des masses volumique du sable recyclé de terre cuite par rapport aux deux sables naturels. Cette différence est due principalement à la porosité élevée du sable recyclé à base de brique. Ce résultat est confirmé par un autre auteur [7]. Ainsi avec une masse volumique apparente de  $1.05 t/m^3$  il s'avère moins lourd que les sables naturels. Cela et dû au fait que le sable recyclé est considéré comme un sable de porosité très élevé.

**Comparaison entre les masses volumiques des trois sables recyclés :**

Echantillon	Masse volumique apparente $t/m^3$	Masse volumique absolue $t/m^3$
sable recyclé de mortier à base de sable marin	1.2	2.39
sable recyclé de mortier à base de sable de dune	1.26	2.49
sable recyclé de terre cuite	1.05	2.23

**Tableau. 7.13 : Masses volumiques des trois sables recyclés**

**Commentaires :**

D'après le tableau, on voit bien la légèreté de la masse volumique du sable recyclé de terre cuite par rapport aux deux autres sables recyclés. Cette différence est due principalement à la porosité élevée du sable recyclé à base de brique. Ce résultat est confirmé par d'autres auteurs [7].

**1.3.4. Compacité et porosité**

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Echantillon	Porosité %	Compacité %
sable naturel marin	45	55
sable naturel de dune	41.6	58.4
sable recyclé	52	48

Tableau. 7.14 : Valeurs de la compacité et la porosité des trois sables

**Commentaires :**

D'après les résultats obtenus on remarque que le sable naturel est plus compact que le sable recyclé, donc le sable recycle est peu compact et par conséquent il est plus preux que le naturel

D'après les résultats obtenus on remarque que le sable recyclé de brique est plus poreux que les deux sables naturel, ce qui est évident (de l'ordre 11% par rapport au sable marin et d'environ 17% par rapport au sable de dune). Cela indique la faible compacité du sable recyclé comparativement aux sables naturels.

**1.3.5. Equivalent de sable**

Les résultats comparatifs des équivalents de sable des trois matériaux sont les suivants :

Echantillon	Equivalent de sable	Critère de la norme
sable naturel marin	98%	$\geq 70$
sable naturel de dune	85.60%	$\geq 70$
sable recyclé de terre cuite	96.62%	$\geq (65 \text{ et } 60 \text{ pour les sables concassés et broyés})$

Tableau. 7.15 : Equivalents de sable des trois sables

Commentaires :

On remarque cette fois que le sable recyclé de terre cuite a un équivalent de sable conforme à la limite exigée par la norme NF P 18-598 [41]. Donc c'est un sable propre et admissible pour la confection de béton et de mortier.

**1.3.6. Absorption d'eau**

Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau suivant :

Type de sable	Coefficient d'absorption d'eau%
Sable naturel marin	0.70
Sable naturel de dune	0.29
Sable recyclé de terre cuite	7.14

Tableau. 7.16 : Absorption d'eau des trois sables

Commentaires :

D'après les résultats obtenus, on note que le sable recyclé à base de terre cuite absorbe beaucoup plus d'eau que le sable naturel car on a obtenu un coefficient d'absorption d'eau du sable recyclé supérieur de près de 10 fois. Cela est dû au fait de la grande porosité du sable recyclé. On note que M<sup>elle</sup> Bedjou avait trouvé un coefficient de 5,8 pour le sable de briques concassées [7]. On peut dire qu'il faudrait une plus grande quantité d'eau de gâchage pour la confection de béton et mortier à base de sable recyclé par rapport au sable naturel et au sable recyclé de débris de mortier. Notant que la brique est une matière cuite et c'est pour cette raison qu'on a obtenu cette différence.

## 2. Caractérisation des mortiers : résultats et interprétations

Dans ce chapitre, nous avons étudié des mortiers confectionnés à partir des mélanges de sable naturel et de sable recyclé.

Le choix des mélanges est fixé de façon à compléter les études menées par Mlle. Bedjou [7] et M. Bouzidi [2]. Dans notre travail, nous avons essayé de voir comment on pourrait diminuer la consommation d'eau élevée et donc améliorer le mécanisme d'hydratation en procédant à des ajouts de sable naturel.

### 2.1. Étude des essais mécaniques d'un mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de mortier de ciment

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à l'étude d'un mortier confectionné à partir d'un mélange de sable naturel marin et de sable recyclé issu du concassage de mortier de ciment. Les deux 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/m<sup>3</sup> de sable sec. Nous avons choisi un seul dosages en eau de telle sorte que l'on obtient 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 [2]. Cinq mélanges ont été préparés et 30 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 sable recyclé de 0 à 100% avec un pas de 25% en complétant avec du sable naturel marin. Toutes les éprouvettes ont été conservées dans l'eau jusqu'au jour de l'essai.

Le tableau suivant regroupe tous les résultats obtenus :

M <sub>N/R</sub>	Maniabilité (s)	Masse volumique apparente (t/m <sup>3</sup> )		Résistance à la traction (Mpa)		Résistance en compression (Mpa)	
		7 j	28 j	7 j	28 j	7 j	28 j
M <sub>100/0</sub>	4	1.96	2	1.23	3.56	10.62	16.04
M <sub>75/25</sub>	4	1.95	1.99	1.13	3.42	8.89	13.43
M <sub>50/50</sub>	7	1.93	1.96	1.12	3.55	8.79	13.28
M <sub>25/75</sub>	8	1.89	1.90	1.10	3.25	8.38	12.66
M <sub>0/100</sub>	9	1.85	1.88	1.05	2.66	7.45	11.25

Tableau.7.17 : Résultats des différents essais réalisés

La notation M<sub>N/R</sub> indique un mortier réalisé à partir des deux sables où :  
 N : est le pourcentage de sable naturel ;  
 R : est le pourcentage de sable recyclé.

### 2.1.1. Effet de la teneur en sable recyclé sur la maniabilité du mortier frais

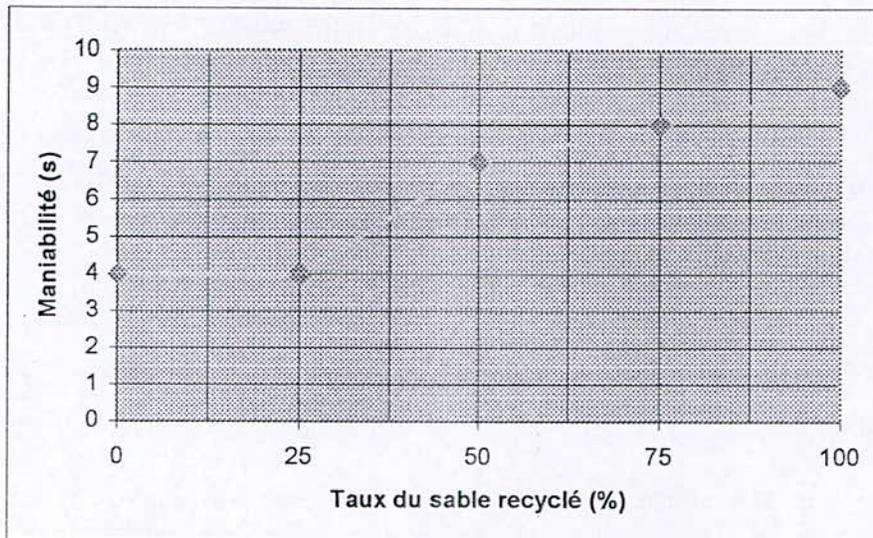


Fig.7.4 : Variation de la maniabilité du mortier en fonction du taux du sable recyclé avec  $E/C = 0.86$ .

#### Commentaires :

D'après le graphe on remarque que la maniabilité augmente à chaque fois que le pourcentage du sable recyclé croît. Cela est dû au fait que les grains du sable recyclé vont absorber une quantité plus importante d'eau de gâchage par rapport aux grains du sable naturel, et cela s'explique par la plus grande porosité du sable recyclé. Toutefois, les valeurs de maniabilité restent toujours dans les limites acceptables.

### 2.1.2. La masse volumique apparente du mortier

#### 2.1.2.1. Evolution de la masse volumique apparente dans le temps

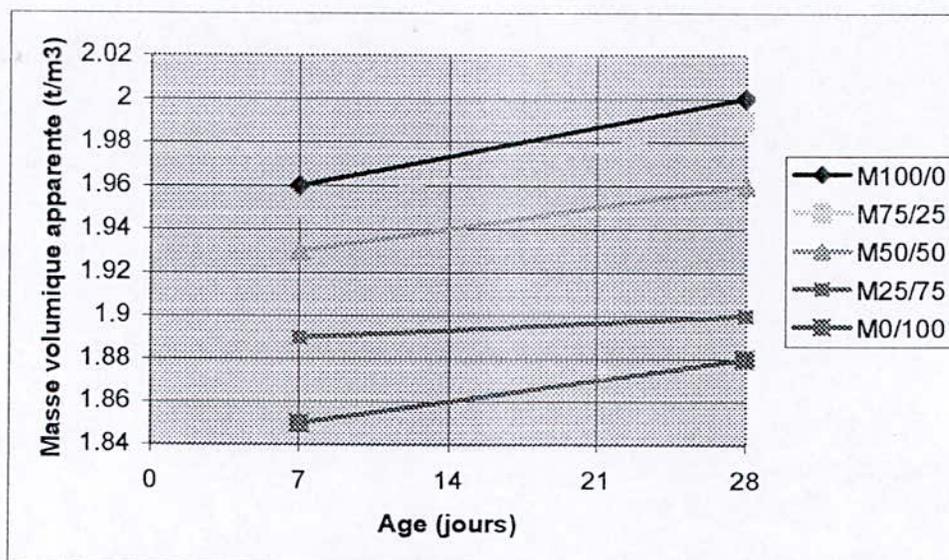


Fig. 7.5: Evolution de la masse volumique apparente en fonction du temps

Commentaires :

On remarque que les masses volumiques des mélanges augmentent légèrement dans le temps, car les éprouvettes sont conservées dans l'eau entre 7 et 28 jours. La masse volumique des mortiers est d'autant plus faible que le pourcentage de sable recyclé incorporé est plus grand. D'autre part, on notera qu'entre 7 et 28 jours, la masse volumique augmente de 30% pour le mortier de 100% de sable recyclé et de 14% pour le mortier à base du sable naturel. Cette augmentation plus importante de la masse volumique pour le mortier de 100% de sable recyclé est due à la plus grande porosité du sable recyclé par rapport au sable naturel qui absorbe plus d'eau, donc sa masse volumique augmente plus par rapport aux autres mortiers

### 2.1.2.2. Etude de la variation de la masse volumique apparente du mortier en fonction de la teneur en sable recyclé

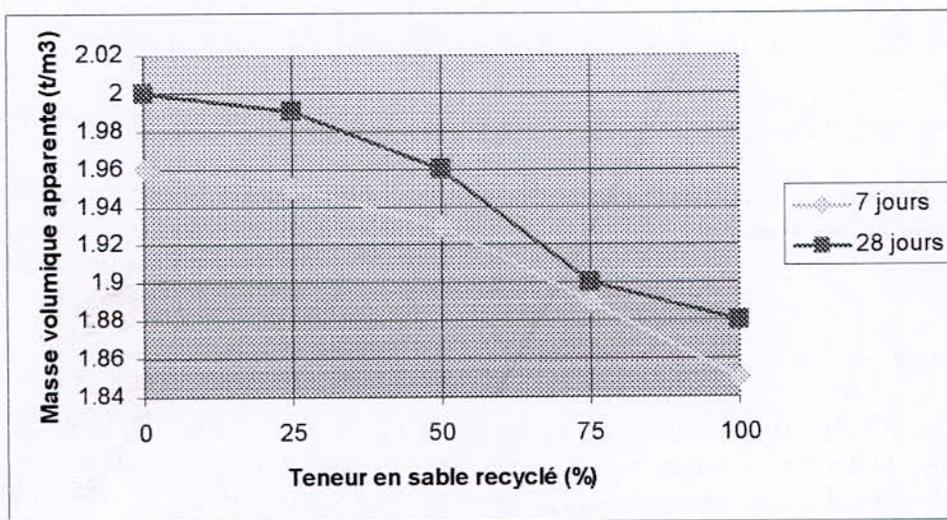


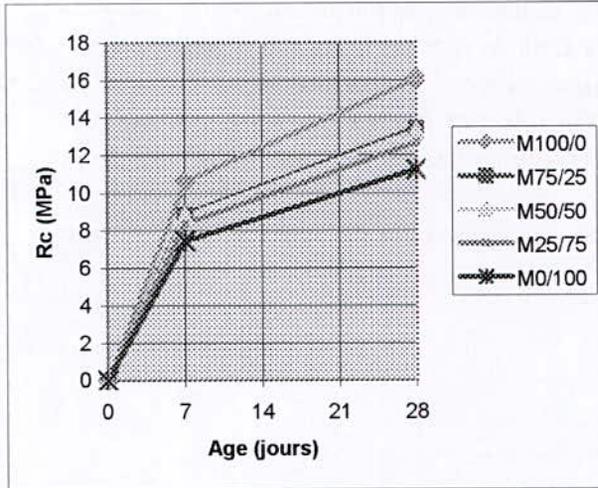
Fig. 7.6 : Variation de la masse volumique apparente en fonction de la teneur en sable recyclé

Commentaires :

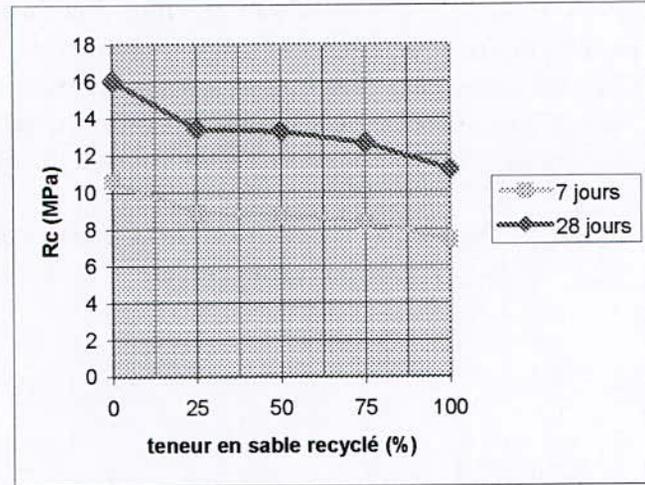
A partir de la figure ci-dessus, et des résultats obtenus on remarque que les masses volumiques des mortiers décroissent avec l'augmentation du pourcentage de sable recyclé, on notera que pour les masses volumiques apparentes à 7 jours, pour le pourcentage de 100% de sable recyclé, la masse volumique chute de 14% par rapport au mortier du sable naturel, et à 28 jours, pour les mêmes mélanges, la masse volumique chute de 6%. Ceci est dû à la faible masse volumique des sables recyclés incorporé dans le mortier et aussi à leur porosité.

### 2.1.3. Résistance à la compression

#### 2.1.3.1. Evolution de la résistance à la compression au cours du temps et Effet de la teneur en sable recyclé sur la résistance à la compression



**Fig.7.7 : Evolution de la résistance à la compression dans le temps**



**Fig.7.8 : Variation de la résistance en compression en fonction de la teneur en sable recyclé**

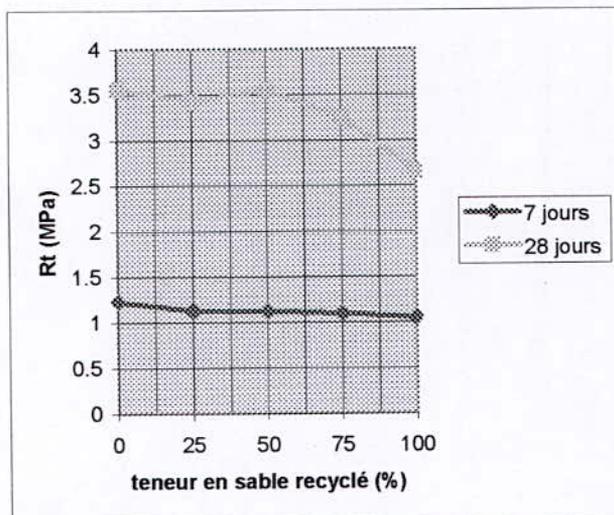
#### Commentaires :

La figure 7.7 montre la progression de la résistance à la compression du mortier des cinq mélanges avec le temps. D'où on constate que le durcissement du mortier continu dans le temps après 7 jours d'autant plus que les éprouvettes sont conservées dans l'eau. Ceci explique le développement du processus d'hydratation du ciment qui se produit de la même manière et que cette hydratation se développe au cours du temps. D'autre part, les mortiers à base de sable recyclé doivent s'hydrater normalement, même si on observe une plus faible résistance par rapport au mortier du sable naturel.

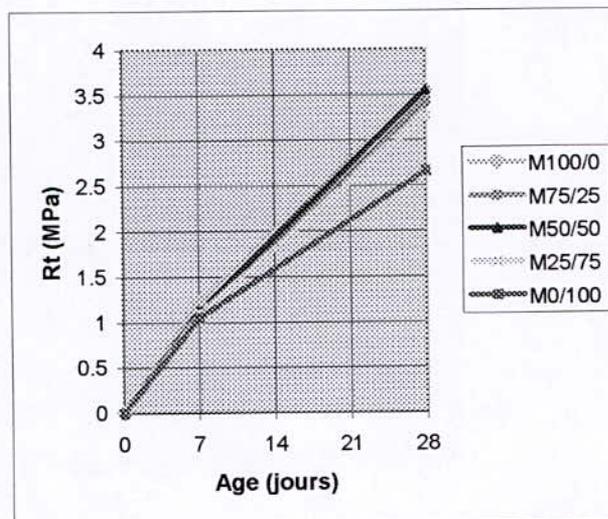
D'après la figure 7.8, on constate que plus le pourcentage du sable recyclé augmente dans le mortier, plus sa résistance va diminuer. On voit bien que la résistance à la compression à 28 jours du mortier à 100% de sable naturel est de même supérieure de 30% à celle du mortier ayant 100% de sable recyclé, même à 7 jours, la résistance à la compression du mortier à 100% de sable naturel elle d'environ 28% beaucoup plus grande que celle du mortier à 100% de sable recyclé. Ceci est dû au fait que nous n'avons plus le rapport E/C optimal avec les sables recyclés, car la plus grande porosité de ces derniers nécessite une plus grande quantité d'eau. Toutefois, les travaux des différents chercheurs montrent que même avec un E/C optimal la résistance restera inférieure à celle d'un mortier de sable naturel. En effet, la figure 6.8 montre que la baisse de résistance à 28 jours est plus faible qu'à 7 jours. Sachant que les éprouvettes ont été conservées dans l'eau, cela montre que la baisse de résistance pourrait être imputée à une moins basse hydratation du ciment du fait d'une absorption d'eau « parasite » par les pores du sable recyclé.

## 2.1.4. Résistance à la traction par flexion

### 2.1.4.1. Evolution de la résistance à la traction au cours du temps et Effet de la teneur en sable recyclé sur la résistance à la traction



**Fig.7.9 : Evolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps**



**Fig.7.10 : Variation de la résistance à la traction par flexion en fonction de la teneur en sable recyclé**

#### Commentaires :

On note presque les mêmes observations dans le cas de la résistance à la traction par flexion, par exemple, d'après la figure 7.9 qui présente la variation de la résistance à la traction par flexion ( $R_t$ ) dans le temps pour chaque mélange, les valeurs des résistances à la traction par flexion varient de la même façon avec ceux de la compression.

D'autre part on voit que la résistance à la traction croît d'environ 65% entre 7 et 28 jours pour le mortier du sable naturel, ce qui est presque le même cas pour les autres mélanges ; cela montre que les mortiers se durcissent normalement dans le temps. On remarque que la vitesse de durcissement entre 7 et 28 jours est plus grande que celle de 0 à 7 jours pour tous les mélanges.

D'après la figure 7.10, on constate que les résultats sont pratiquement similaires à ceux obtenus pour l'essai de compression. On remarque que la résistance à la traction par flexion décroît dans le temps en parallèle avec l'augmentation du pourcentage des substitutions en sable recyclé qui existe dans la composition du mortier, et chute d'environ 15% à 7 jours pour le mortier à 100% de sable recyclé par rapport au mortier à 100% de sable naturel, et de 25% à 28 jours pour les mêmes mélanges. Ceci est dû à la porosité des grains du sable recyclé qui absorbent plus d'eau que le sable naturel et ralentit l'hydratation complète du ciment.

D'autre part, la figure 7.10 montre que la baisse de résistance à 7 jours est plus faible qu'à 28 jours. Sachant que les éprouvettes ont été conservées dans l'eau, cela montre que la baisse de résistance pourrait être imputée à une moins basse hydratation du ciment du fait d'une absorption d'eau « parasite » par les pores du sable recyclé.

De plus, le mode de rupture des éprouvettes prismatiques de mortier en traction par flexion correspond au premier mode, comme le montre la figure 7.11 ci-après.



Fig.7.11 : Vue de l'état de rupture des prismes de mortier étudiés.

### 2.1.5. Relation entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente

D'après les résultats obtenus et concernant les valeurs de la résistance mécanique et les valeurs de la masse volumiques des éprouvettes de mortiers à différents pourcentages en sable recyclé (voir Tableau 7.16), nous avons remarqué la relation qui existe entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente pour les différents mélanges. C'est-à-dire que les valeurs de la résistance à la compression sont proportionnelles aux valeurs de la masse volumique apparente. Nous avons conclu que plus le mortier est dense (peu de pores), plus sa résistance est élevée.

### 2.1.6. Absorption d'eau par capillarité

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

NOTATION	Absorption d'eau par capillarité en grammes									
	0mn	10mn	20mn	30mn	40mn	50mn	60mn	70mn	80mn	90mn
$M_{100/0}$	0	1,67	3	5,33	6,33	6,33	6,67	7	7	7,33
$M_{75/25}$	0	1,67	2,33	2,33	2,67	3,33	3,67	6	6,33	6,67
$M_{50/50}$	0	5	5,67	5,67	5,67	7,33	8,33	10,67	11	12
$M_{25/75}$	0	1	2	2,33	2,33	3,67	4,33	4,33	4,33	7,67
$M_{0/100}$	0	2	5	5	5	5	6,67	8,67	8,67	8,67

Tableau. 7.18 : Résultats de l'essai d'absorption capillaire au cours du temps

La figure ci-après donne l'évolution de l'absorption capillaire des différents mélanges dans le temps :

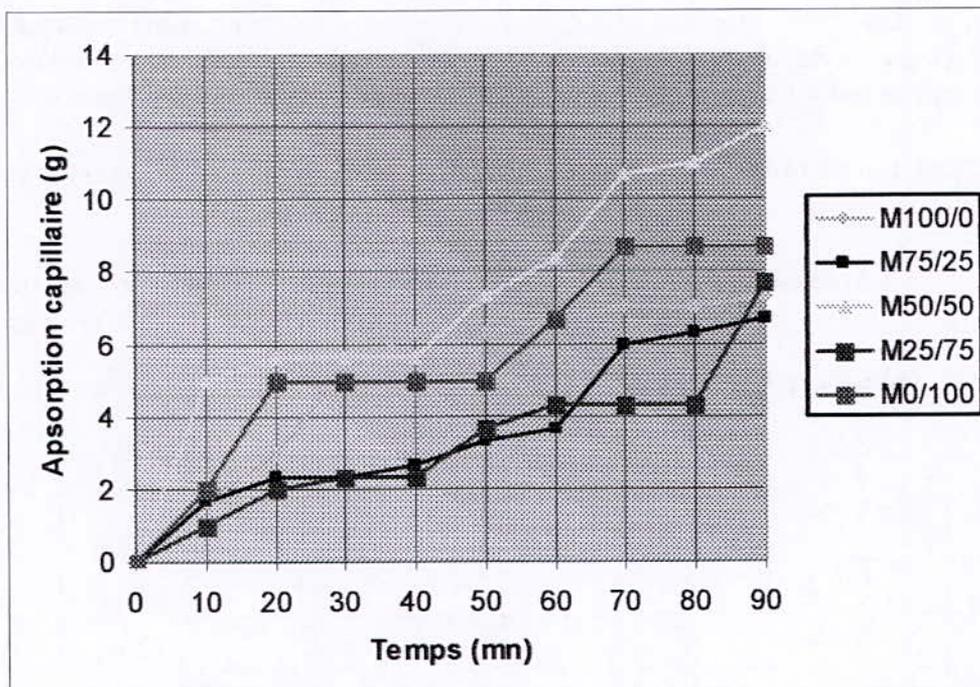


Fig.7.12 : Evolution de l'absorption capillaire des différents mortiers au cours du temps

### Commentaires :

D'après les résultats du graphe, on constate que le mortier à base du sable issu du concassage du mortier de ciment absorbe beaucoup plus d'eau au cours d'une courte période de temps. En générale, plus la proportion de sable recyclé augmente, plus la succion d'eau par capillarité augmente. Le sable M<sub>50/50</sub> présente des résultats peu exagérés, ceci est peut être dû à une erreur de manipulation.

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

## 2.2. Étude des essais thermiques sur des éprouvettes (4x8x16cm)

Pour la réalisation des essais thermiques nous avons étudiés deux types de mortiers : un est à base de sable recyclé issu du concassage d'un mortier de ciment du sable naturel de dune et l'autre est à base de sable recyclé issu du concassage de débris de terre cuite. Nous avons choisi deux dosages en ciment : (350 et 400) Kg/m<sup>3</sup> de sable sec en fixant le rapport E/C = 0.75 : ce rapport a été retenu car il correspond à une bonne maniabilité pour un mortier à base de 100% de sable naturel. Pour chaque dosage en ciment, le sable naturel a été remplacé par du recyclé dans différentes proportions variant suivant un pas de 25% du poids total de sable pour aboutir à un mélange : sable naturel plus sable recyclé. Les essais sont réalisés sur 60 éprouvettes 4x8x16cm pour chaque type du ciment- on prend toujours la moyenne des résultats obtenus pour les trois éprouvettes destinées pour chaque mélange : sable naturel et sable recyclé.

### 2.2.1. Étude des essais thermiques de mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de mortier de ciment

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.

#### 2.2.1.1. Etude de la maniabilité du mortier frais, la masse volumique apparente et de la conductivité thermique

$M_{N/R}$	Maniabilité (s)		Masse volumique apparente ( $t/m^3$ )		conductivité thermique $\lambda$ (W/m.k)	
	350 kg/m3	400 kg/m3	350 kg/m3	400 kg/m3	350 kg/m3	400 kg/m3
$M_{100/0}$	7	11	2.55	2.37	1.7064	1,4865
$M_{75/25}$	8	6	2.40	2.35	1.4933	1,3529
$M_{50/50}$	5	12	2.41	2.42	1.4263	1,1916
$M_{25/75}$	13	21	2.37	2.44	1.2562	1,1376
$M_{0/100}$	33	25	2.29	2.33	1.0315	0,9105

Tableau.7.19 : Résultats de la maniabilité, la masse volumique apparente et valeurs moyennes de conductivité thermique pour les différents mélanges réalisés (E/C= 0.75)

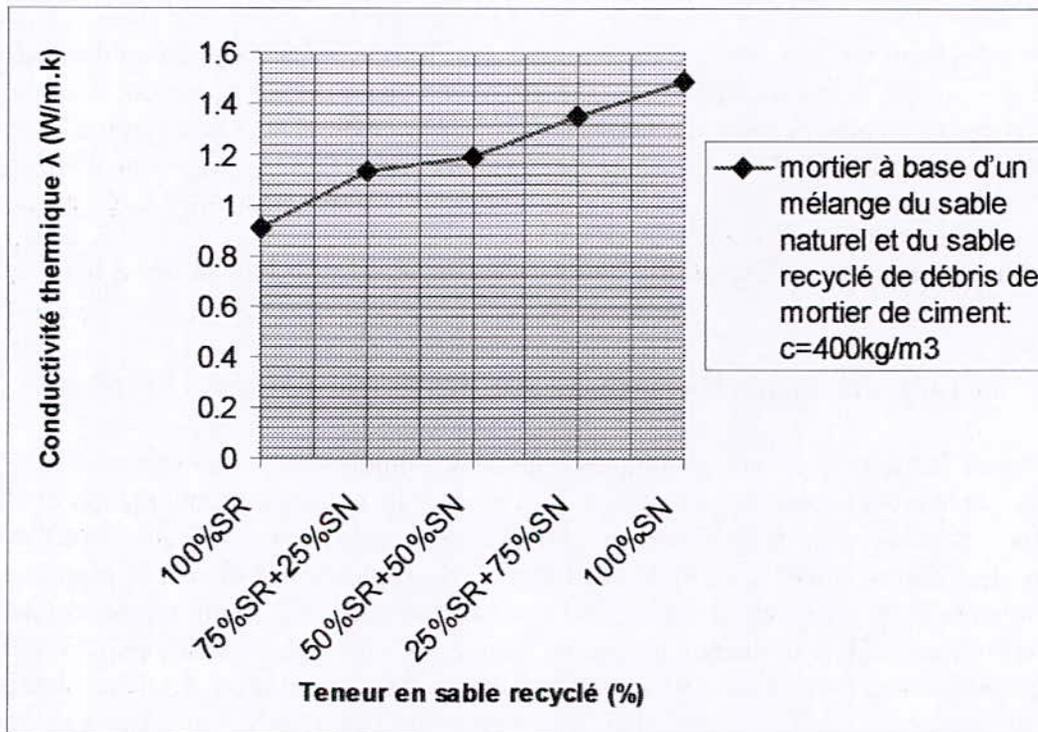


Fig.7.13 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de mortier de ciment ( $c=400kg/m^3$ ).

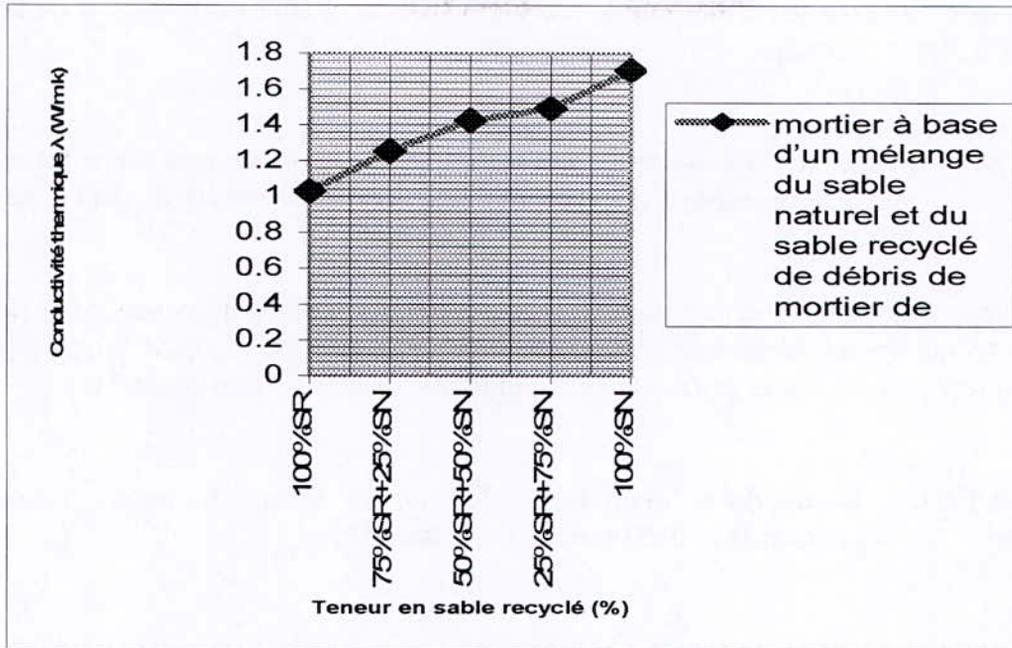


Fig.7.14 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de mortier de ciment ( $c=350\text{kg/m}^3$ ).

#### Commentaires :

D'après les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus, on remarque que les valeurs de la maniabilité augmentent à chaque fois que le pourcentage du sable recyclé croît. Cela est dû au fait que les grains de sable recyclé vont absorber une quantité très importante d'eau de gâchage par rapport aux grains du sable naturel et cela s'explique par la forte porosité de sable recyclé.

Les masses volumiques apparentes des mortiers décroissent avec l'augmentation de sable recyclé ; par exemple, pour le pourcentage de 100% de sable recyclé la masse volumique chute de 10% par rapport au mortier du sable naturel pour un dosage en ciment  $c=400\text{kg/m}^3$ , et d'environ 02% pour le dosage en ciment  $c=350\text{kg/m}^3$ . Ceci est dû à la faible masse volumique des sables recyclés incorporés dans le mortier et de leur porosité. Dans le tableau ci-dessus les valeurs de la masse volumique des trois premiers mélanges de mortiers, pour  $c=350\text{kg/m}^3$  sont supérieures à celles de  $c=400\text{kg/m}^3$  ; cela est peut être dû à une mauvaise vibration des mélanges de mortiers en question.

Pour la conductivité thermique, et d'après les deux courbes de la variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé, on notera que plus le pourcentage de sable recyclé incorporé dans le mortier augmente plus la conductivité thermique du mortier augmente. Pour le pourcentage de 100% de sable recyclé, une baisse de 40% de la conductivité thermique par rapport au mortier de 100% de sable naturel, et une augmentation de 27% pour un dosage en ciment égale à  $350\text{kg/m}^3$ , et une augmentation de 39% et de 20% successivement par rapport au même mélange précédant, pour un dosage en ciment égale à  $400\text{kg/m}^3$ .

D'après les résultats obtenus de la conductivité thermique, le mortier à base de granulats recyclés est plus isolant que le mortier à base de granulats naturels. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les granulats recyclés sont plus légers que les granulats naturels à cause de leur

forte porosité. D'ailleurs on a trouvé que la masse volumique du mortier recyclé est plus faible de près de 10%. On peut donc dire que le mortier à base de granulats recyclés a de bonnes propriétés d'isolation thermique.

### 2.2.2. Étude des éprouvettes thermiques (4x8x16cm) de mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de débris de terre cuite

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.

#### 2.2.2.1. Etude de la maniabilité du mortier frais, la masse volumique apparente et de la conductivité thermique

M <sub>N/R</sub>	Maniabilité (s)		Masse volumique apparente (t/m <sup>3</sup> )		conductivité thermique $\lambda$ (W/m.k)	
	350 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>	350 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>	350 kg/m <sup>3</sup>	400 kg/m <sup>3</sup>
M <sub>100/0</sub>	7	11	2.55	2.37	1.7064	1.4865
M <sub>75/25</sub>	6	5	2.5	2.23	1.4811	1.358
M <sub>50/50</sub>	13	6	2.28	2.27	1.4745	1.219
M <sub>25/75</sub>	20	7	2.38	2.27	0.9879	1.112
M <sub>0/100</sub>	113	85	2.08	2.05	0.6755	0.7025

**Tableau.7.20 : Résultats de la maniabilité, la masse volumique apparente et valeurs moyennes de conductivité thermique pour les différents mélanges réalisés (E/C= 0.75)**

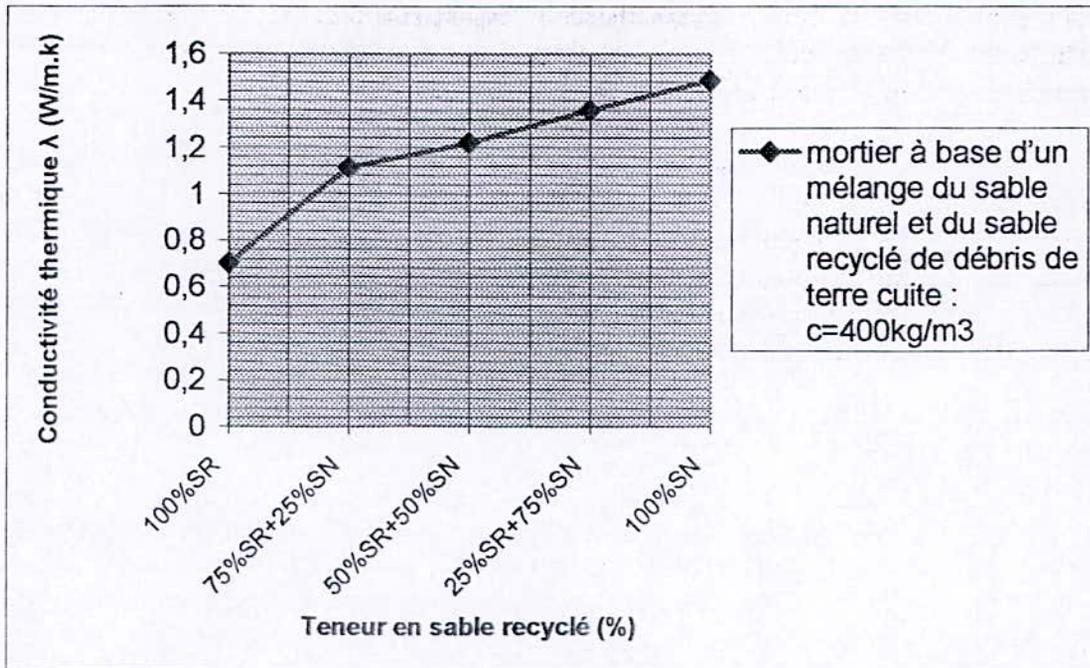


Fig.7.15 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de terre cuite (c=400kg/m<sup>3</sup>).

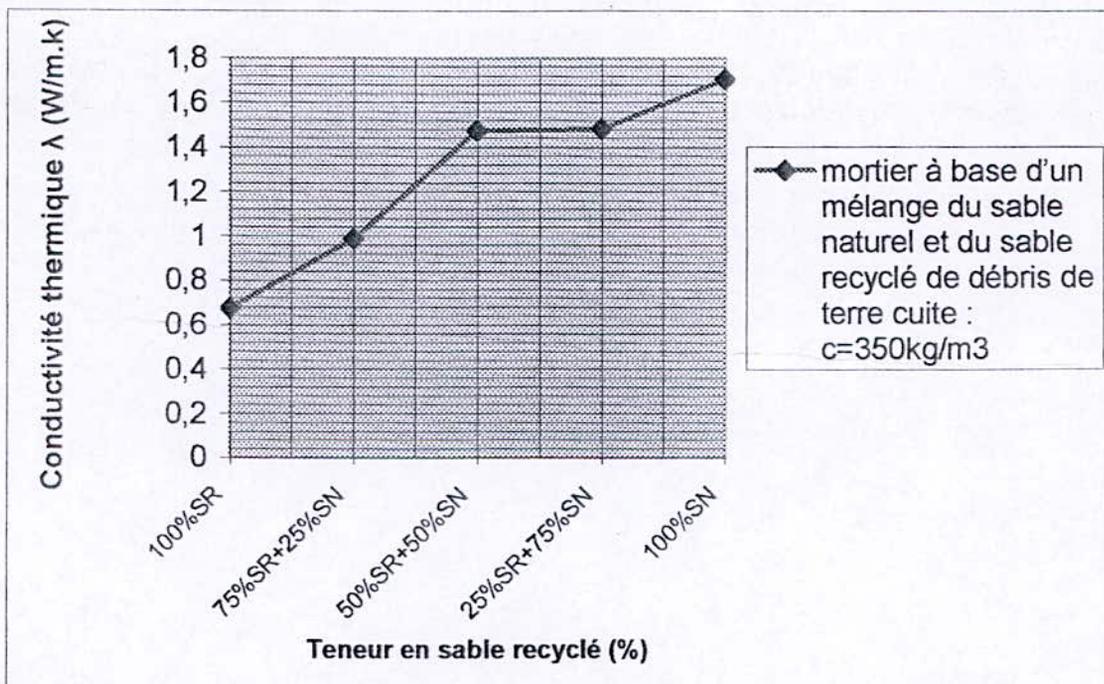


Fig.7.16 : Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en sable recyclé issu de débris de terre cuite (c=350kg/m<sup>3</sup>).

### Commentaires :

D'après les résultats obtenus on remarque que la maniabilité augmente à chaque fois que le pourcentage du sable recyclé croît. Cela est dû au fait que les grains de sable recyclé vont absorber une quantité très importante d'eau de gâchage par rapport aux grains du sable naturel,

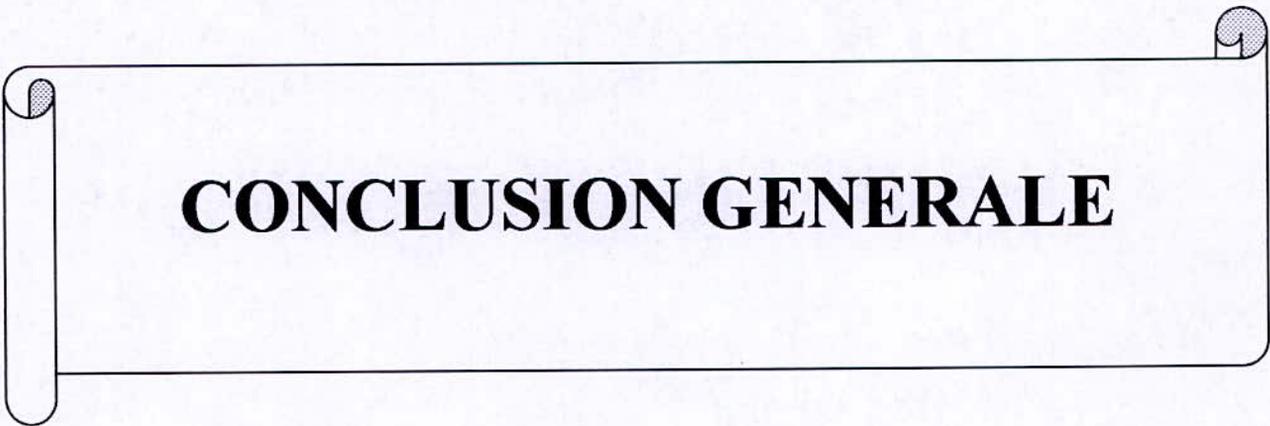
et cela s'explique par la forte porosité de sable recyclé. De plus on voit que la maniabilité du mortier ayant 100% de sable recyclé de terre cuite a une valeur très élevée due à la forte absorption en eau de la terre cuite.

On notera que la masse volumique apparente du mortier décroît avec l'augmentation du sable recyclé de terre cuite, pour le pourcentage de 100% de sable recyclé la masse volumique chute de 14% par rapport au mortier du sable naturel pour le dosage en ciment  $c=400\text{kg/m}^3$ , et pour le dosage en ciment  $c=350\text{kg/m}^3$ , et pour le même mélange la masse volumique chute de 19%. Ceci est dû à la faible masse volumique des sables recyclés incorporés dans le mortier et de leur porosité.

On notera que il n'y a pas une grande variation de la masse volumique entre les deux dosages en ciment

À partir des résultats obtenus nous constatons aussi que les mortiers à base de sable recyclés de terre cuite sont plus isolants que le mortier à base de sable naturel. Ceci s'explique par le fait que le sable recyclé a une masse volumique plus faible que celle de sable naturel à cause de leur forte porosité. On notera que plus le pourcentage de sable recyclé incorporé dans le mortier augmente plus la conductivité thermique du mortier diminue. À  $400\text{ kg/cm}^3$ , pour le pourcentage de 100% de sable recyclé on a une diminution de 40% de la conductivité thermique par rapport au mortier de 100% de sable naturel, et une diminution de 27% pour un dosage en ciment égale à  $350\text{kg/m}^3$  et une augmentation de 39% et de 20% successivement par rapport au même mélange précédent, pour un dosage en ciment égale à  $400\text{kg/m}^3$ .

On constate pour les deux types de sable recyclé que le mortier à base de sable recyclé de terre cuite est plus isolant que le mortier à base de sable recyclé du mortier de ciment pour les différents dosages en ciment. Ceci est dû au fait que la terre cuite donne un sable plus léger.

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

# **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

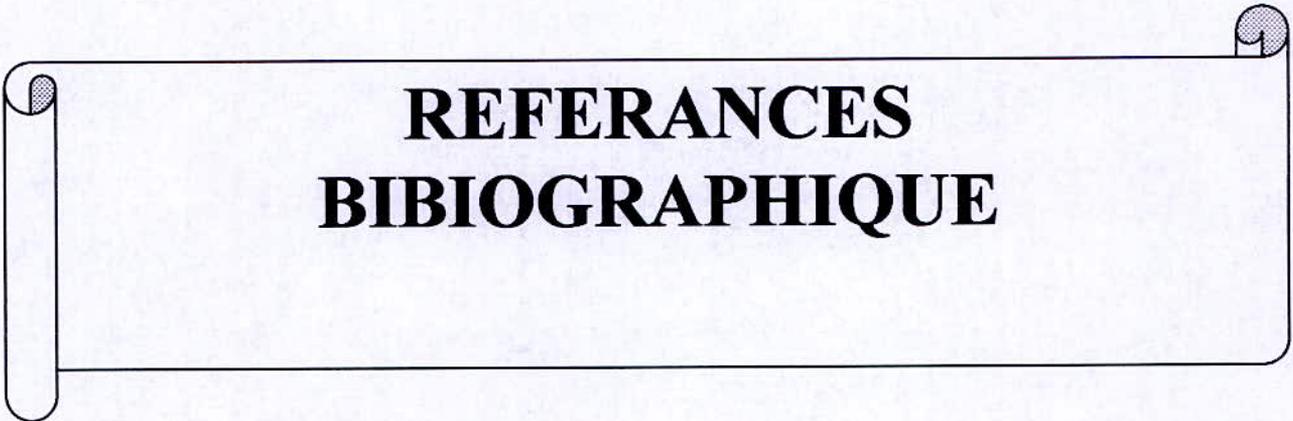
On ne peut continuer à épuiser les ressources naturelles et à polluer le monde avec des déchets. Le respect de notre environnement passe par une meilleure connaissance de ces déchets et le développement des règles et des outils pour mieux les gérer.

L'examen des différents résultats obtenus lors de la réalisation de ce travail ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ❖ Les résultats des essais d'identification des granulats recyclés ont montré que ces derniers présentent des propriétés acceptables pour la confection d'un mortier de ciment.
- ❖ Les granulats recyclés ont un coefficient d'absorption d'eau très élevé et surtout ceux de terre cuite à cause de leur plus grande porosité par rapport aux granulats naturels, ce qui entraîne de plus grosse consommation d'eau.
- ❖ Les granulats recyclés produisent une grande quantité de fines lors du concassage de la brique de terre cuite et de mortier de ciment au laboratoire.
- ❖ Après les essais de caractérisation des mortiers, on a constaté que :
  - ❑ Le mortier à base de sable recyclé de mortier de ciment est meilleur que celui de terre cuite de point de vue résistance mécanique. Par contre, le mortier à base de terre cuite est plus isolant thermiquement.
  - ❑ Le mélange des deux sables, naturel et recyclé est nécessaire d'une part pour rattraper la perte de résistance et améliorer les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers et d'autre part pour améliorer la maniabilité de ces derniers.
  - ❑ Le choix d'un rapport E/C fixe pendant toute l'expérimentation a donné une maniabilité acceptable des mortiers, mais il reste de rechercher le rapport optimal.

Finalement, parmi les suggestions qui nous paraissent fondamentales :

- ▶ Lancer des études au laboratoire qui traitent des mortiers à base d'un mélange de sable naturel, sable recyclé de mortier de ciment et sable recyclé de terre cuite.
- ▶ Chercher un rapport E/C optimum pour confectionner et faire des études expérimentales sur des mortiers à base du mélange des trois sables cités précédemment.

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

**REFERANCES  
BIBIOGRAPHIQUE**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Apcede** : Guide des déchets industriels. [www.apcede.com](http://www.apcede.com).
- [2] **Bouzidi.S** : Étude du recyclage des déchets de maçonnerie en mortier. Thèse de P.F.E. ENP. Promotion 2004.
- [3] **Confédération Construction Bruxelles-Capitale** : Environnement. [www.ConfédérationConstruction.be/Bruxelles capitale](http://www.ConfédérationConstruction.be/Bruxellescapitale).
- [4] **Aida.ineris** : Circulaire du 15 février 2000 relative à la planification de la gestion des déchets de chantier du bâtiment et des travaux publics (BTP). [www.aida.ineris.fr](http://www.aida.ineris.fr)
- [5] **Mon-immeuble** : Les déchets du bâtiment et des travaux publics.[www.mon-immeuble.com](http://www.mon-immeuble.com)
- [6] **Encarta 2005 (encyclopédie)** : le recyclage
- [7] **Bedjou.S** : Etude du recyclage de débris de briques. Thèse de Magister. ENP (2003).
- [8] **Debieb.F** : Valorisation des déchets de briques et béton de démolition comme agrégats de béton. Thèse de magister. université de Blida.
- [9] **M.ARNOULD et M.VIRLOGEUX** : Granulats et bétons légers. presse de l'école nationale des ponts et des chaussées.
- [10] **N.BENOUMECHIARA** : Elaboration et caractérisation d'un matériau à partir d'un déchet industriel. Résumé de mémoire de magister (2001-2002).
- [11] **M.A.CHABOU** : etude de la valorisation du Polyéthylène basse densité généré par recyclage mécanique. Résumé de mémoire de magister (1999-2000).
- [12] **Ademe /apcede** : Bien construire son projet de démolition sélective. [www.adem.fr](http://www.adem.fr).
- [13] **Ademe** : Le bâtiment se recycle. [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- [14] **Duriez.M** : Traité de matériaux de construction.T1.Edition Dunod.
- [15] **Technique de l'ingénieur** : Valorisation et recyclage des déchets.AM4 (A3830)
- [16] **R.CHAISE** : Restauration des anciennes maçonneries. Edition EYROLLES (1981).
- [17] **Contribution à l'étude de traitement et de la valorisation en Génie Civil d'un déchets pétrolier**. Thèse de Magister.ENP.
- [18] **B.Dewulf, C. De Doncker, W. Heinz, Engel et Jean-Pierre Binamé** : Guide de gestion des déchets de construction et de démolition (80 pages), (mise à jour mai 2000). Edition 1999 : Centre Scientifique et Technique de la Construction, le Centre de Recherches Routières et la Confédération Construction de Bruxelles-Capitale.
- [19] **L'environnement mis à profit** : Production et consommation .[www.labelinfo.ch](http://www.labelinfo.ch)

[20] **N.DOTREPPE-GRISARD** : Déchets solides industriels et urbains Traitement Destruction et Valorisation. Edition CEBEDOC sprl. Liège, 1986.

[21] **PLAN SECTORIEL. DECHETS DU CANTON DE BERNE** : Valorisation et traitement des déchets de chantier (fichier PDF, 24 pages).

[22] **CEBTP DEMOLITION** : L'ingénierie de la démolition. [www.cebtp-demolition.com](http://www.cebtp-demolition.com).

[23] **GERVAIS GAGNON** : Etude des méthodes de mesure de la masse volumique et de la teneur en eau des matériaux recyclés. Projet d'application présenté à l'école de technologie supérieure (Université du Québec) comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en génie de la construction. MONTRÉAL / 18 OCTOBRE 2000. (Fichier PDF, 183 pages).

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

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

[26] **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>

[27] **F.FLORIO** : Consultant pour le compte des services de l'état : Proportions pour la gestion des déchets de chantier du BTP dans le département de l'Allier. Novembre 2002 (Fichier PDF, 57 pages).

[28] **M.REINHOLD and A.MULER**: Lightweight aggregate produced from fine fractions of construction and demolition waste. Bauhaus-University Weimar, Faculty of Civil Engineering, Chair of Processing of Building Materials and Reuse. Germany (Fichier PDF, 6 pages).

[29] **Wallonie** : La gestion des déchets en Région wallonne. Un cas pratique : les déchets de construction et de démolition (C& D). [www.mrw.wallonie.be/dgrne/owd/dossiers/recycla.htm](http://www.mrw.wallonie.be/dgrne/owd/dossiers/recycla.htm)

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

[31] **G.BRIGAUX** : La maçonnerie. Edition EYROLLES, 1954.

[32] **REUNION D'INGENIEURS** : Matériaux de construction. Edition EYROLLES, 1979.

[33] **R.DEGEIMBRE** : « Université de LIEGE, Faculté des Sciences Appliquées » : Technologie des bétons. Edition : Centrale des Cours de l'A.E.E.S.

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

Propriétés thermiques; matériaux pour haute température. (Fichier PDF, 12 pages).

<http://www.ulg.ac.be/metaux>

[35] **SONATRO**: Fiche technique du ciment CPJ.

[36] **Controlab** : Essais sur matériaux. Equipement de laboratoire (magazine, 195 pages).  
Edition 2004.

[37] **USTHB. Département Génie Civil. Laboratoire des matériaux** : Travaux Pratiques :  
Détermination des masses volumiques.

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

[39] Norme Française. Granulats. Analyse granulométrique par tamisage, AFNOR, Paris,  
1990.

[40] Norme Française : Mesures des masses volumiques, coefficients d'absorption et teneur  
en eau des sables, AFNOR, Paris, décembre 1990.

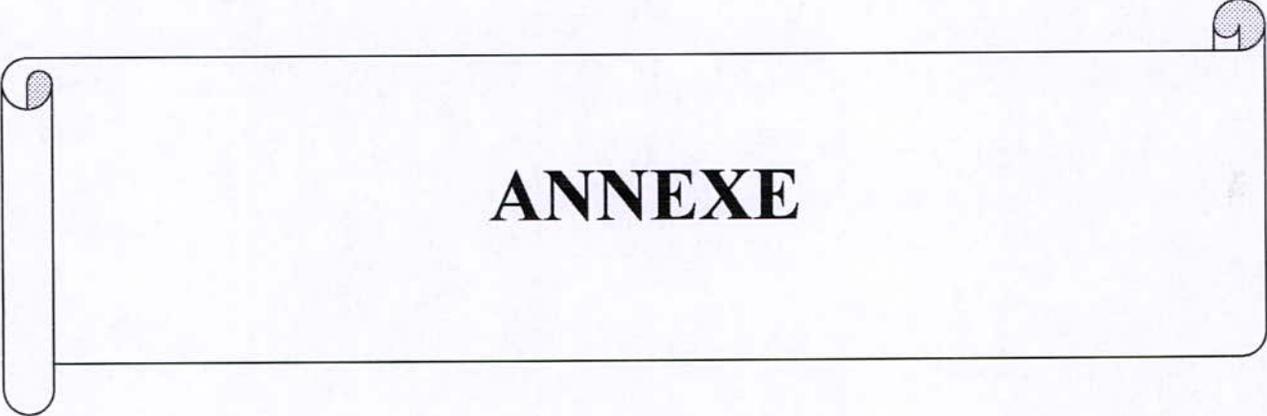
[41] Norme Française : Granulats. Equivalent de sable, AFNOR, Paris, septembre 1998.

[42] Norme Française : Granulats. Détermination de la propreté superficielle, AFNOR, Paris,

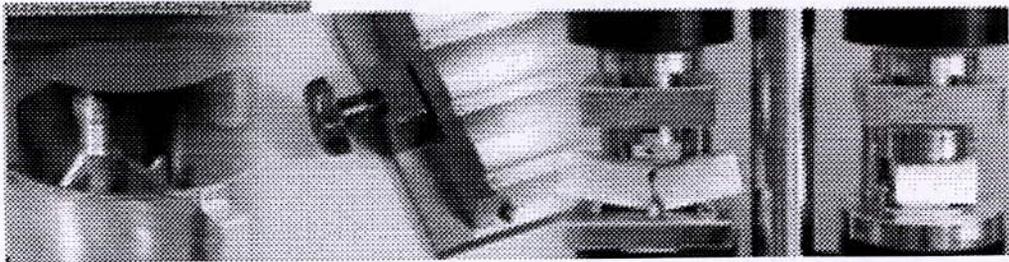
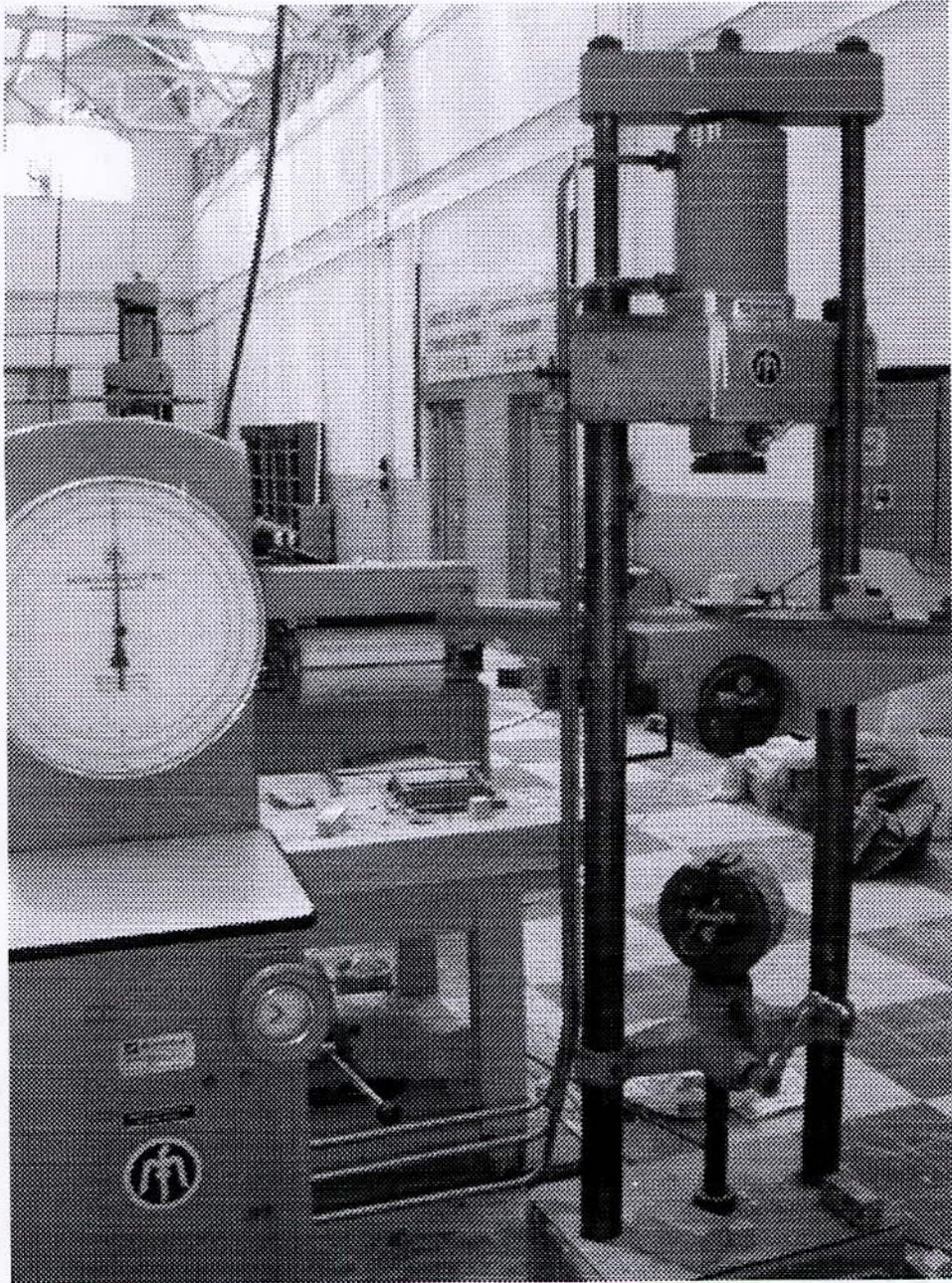
[43] Norme Européenne : Détermination des résistances mécaniques, AFNOR, Paris, mars  
1999.

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

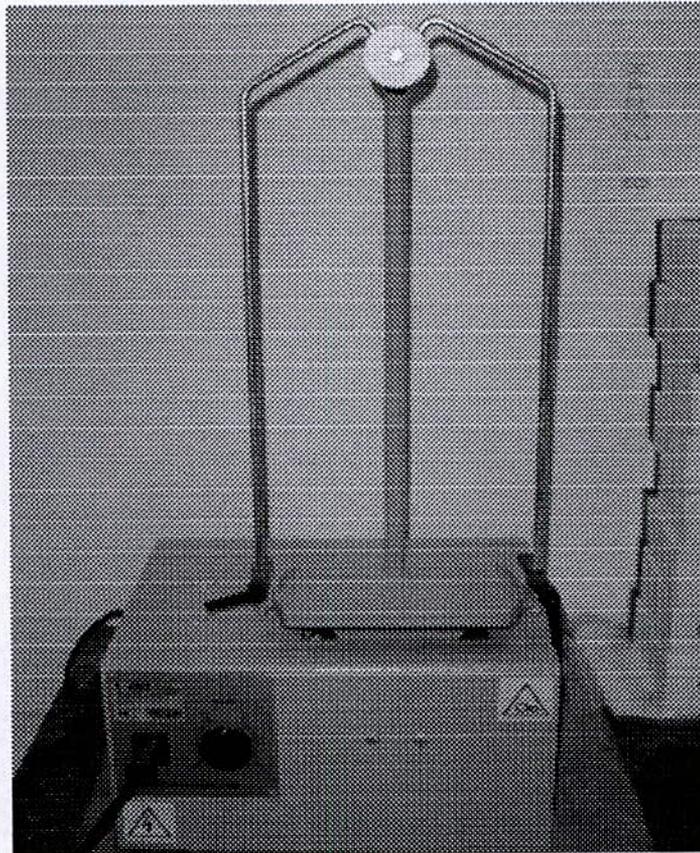
[45] Norme française. Liants hydrauliques. Définition, classification et spécifications des  
ciments, AFNOR, Paris, décembre 1981.



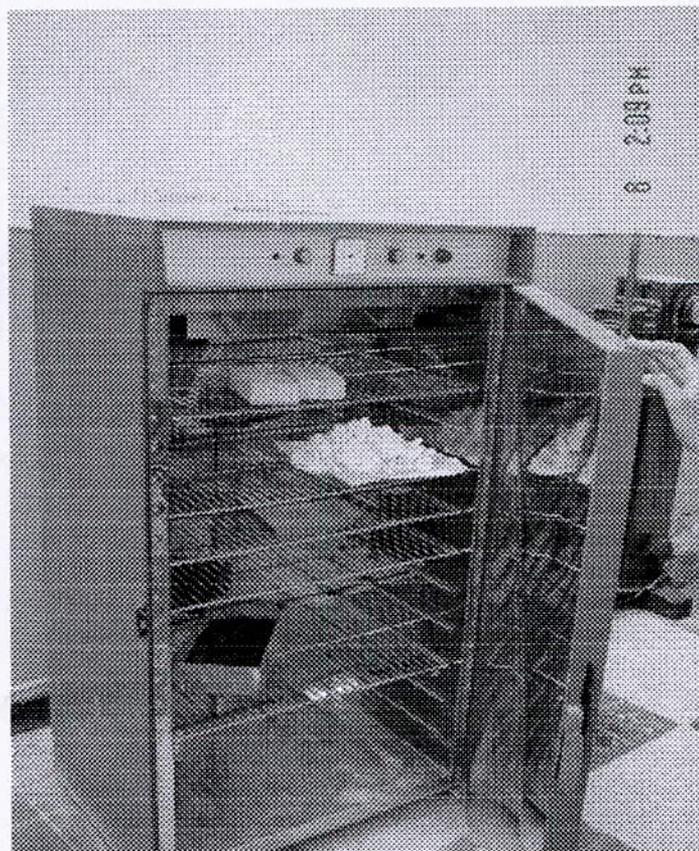
**ANNEXE**



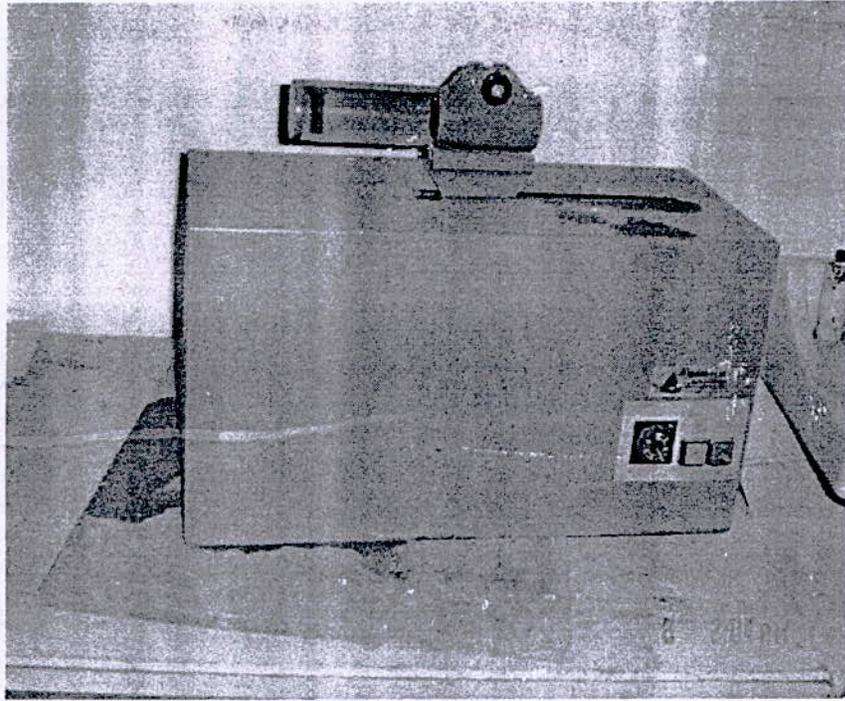
**Machine universelle de compression et flexion**



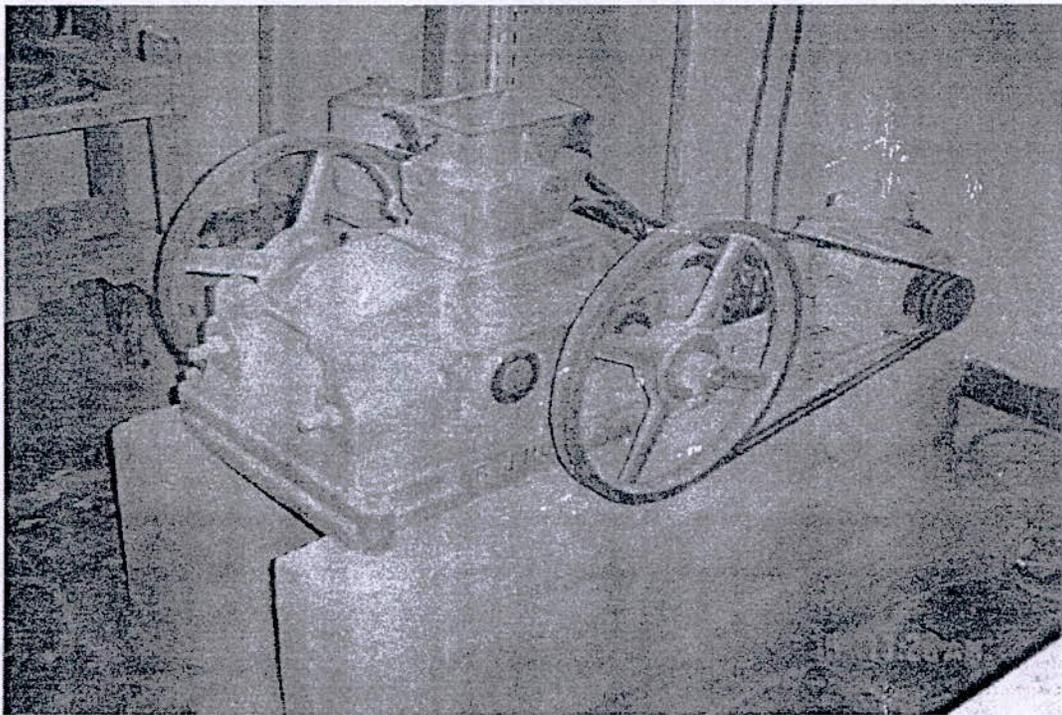
**Tamiseuse**



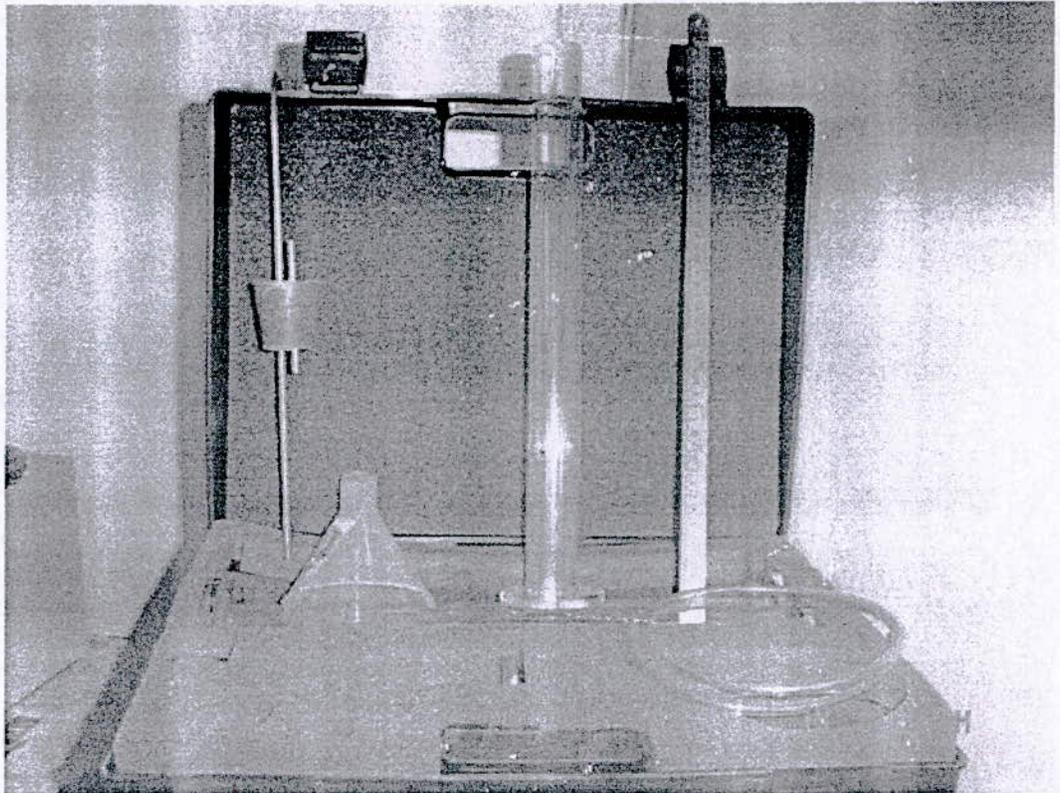
**Armoire thermostatique (Etuve)**



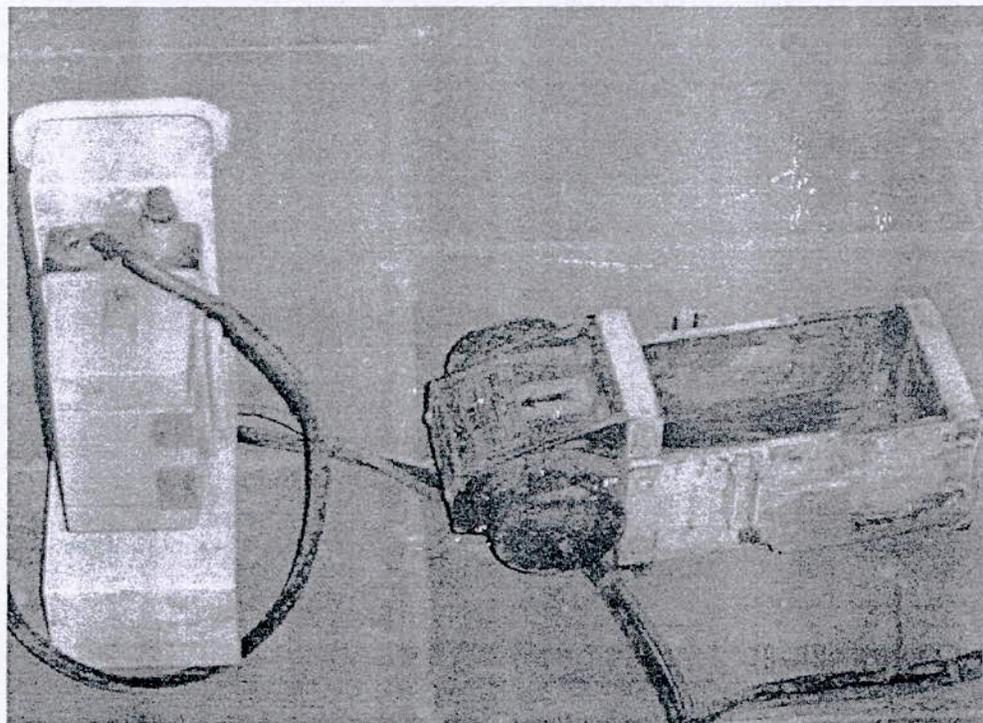
Agitateur



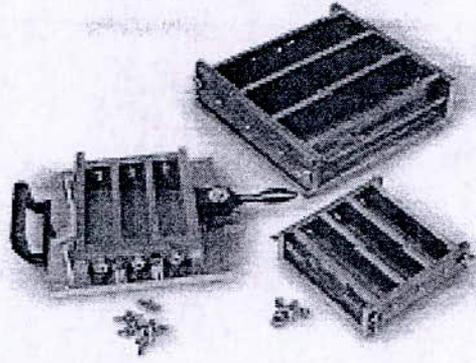
Concasseur à cylindres



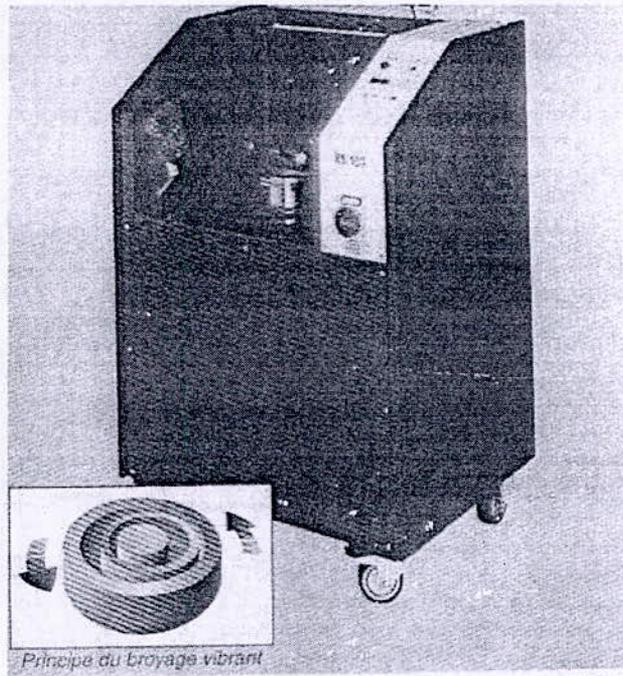
Equipement pour l'essai d'Equivalent de sable



Maniabilimètre



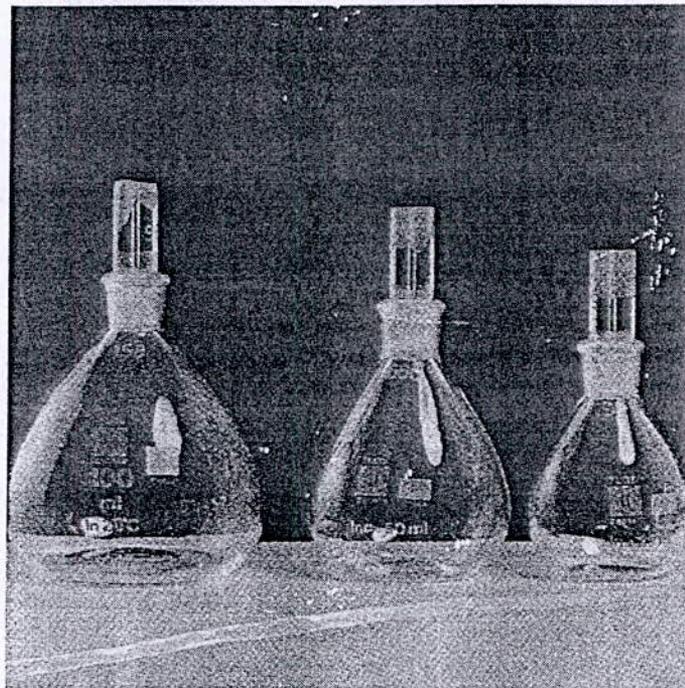
Moule 3 alvéoles pour essai de compression et de flexion



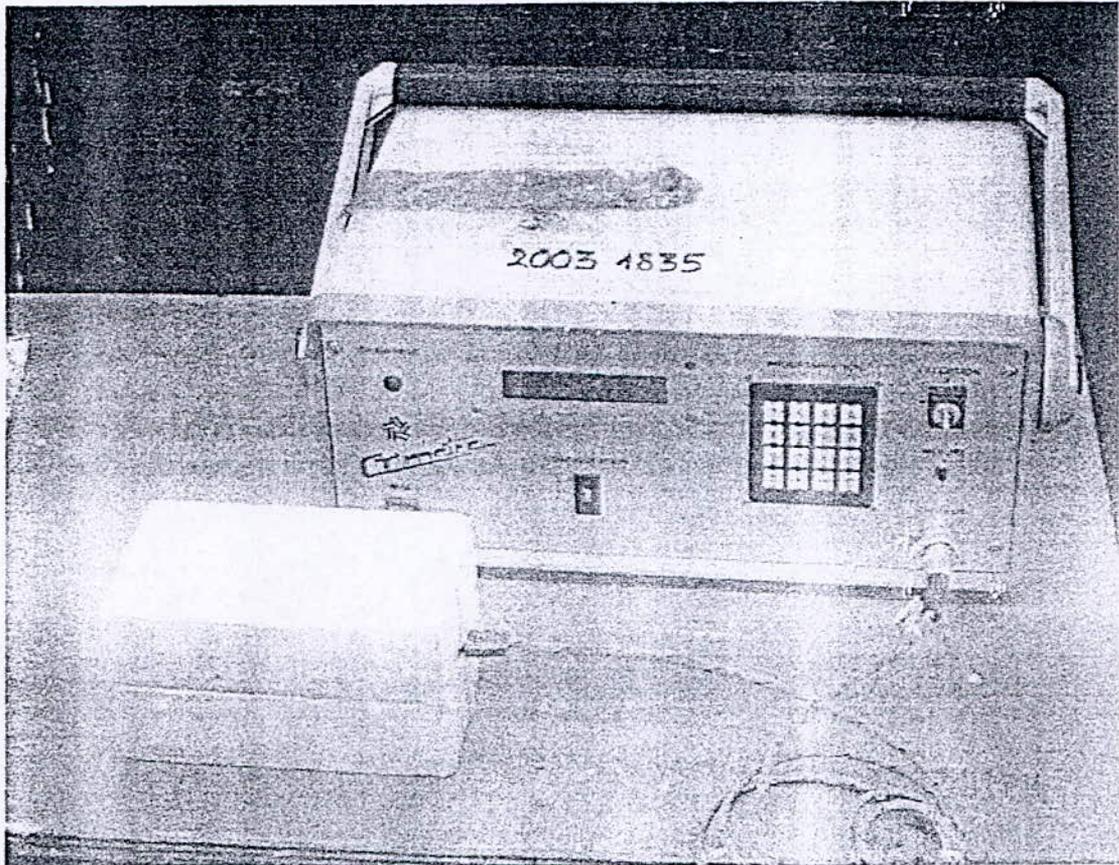
Vibro-broyeur à disque



Entonnoir



Pycnomètre de Gay Lussac



CT Métré avec deux éprouvettes (4x8x16cm)

Dosage en ciment : ⇒ 350 Kg/m <sup>3</sup>						Dosage en ciment : ⇒ 400 Kg/m <sup>3</sup>					
M <sub>N/R</sub>	λ (W/m.k)	P (W)	T <sub>0</sub> (s)	dT(s)	A	M <sub>N/R</sub>	λ (W/m.k)	P (W)	T <sub>0</sub> (s)	dT(s)	A
M <sub>100/0</sub>	1.7064	0,998	24,78	11,14	0,999	M <sub>100/0</sub>	1,4865	0,998	28,28	10,83	0,999
M <sub>75/25</sub>	1.4933	0,998	24,26	10,53	0,999	M <sub>75/25</sub>	1,3529	1,38	27,82	13,82	0,998
M <sub>50/50</sub>	1.4263	0,998	26,34	10,49	0,999	M <sub>50/50</sub>	1,1916	0,988	26,29	13,12	0,999
M <sub>25/75</sub>	1.2562	0,998	26,51	13,16	0,998	M <sub>25/75</sub>	1,1376	0,988	25,19	13,93	0,998
M <sub>0/100</sub>	1.0315	0,998	25,98	13,15	0,998	M <sub>0/100</sub>	0,9105	0,988	26	10,94	0,998

Tableau 1: Valeurs moyennes de conductivité thermique avec des paramètres d'observation correspondants des différents mélanges réalisés de mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de mortier de ciment

Dosage en ciment : ⇒ 350 Kg/m <sup>3</sup>						Dosage en ciment : ⇒ 400 Kg/m <sup>3</sup>					
M <sub>N/R</sub>	λ (W/m.k)	P (W)	T <sub>0</sub> (s)	dT(s)	A	M <sub>N/R</sub>	λ (W/m.k)	P (W)	T <sub>0</sub> (s)	dT(s)	A
M <sub>100/0</sub>	1.7064	0,998	24,78	11,14	0,998	M <sub>100/0</sub>	1,4865	0,998	28,28	0,83	0,998
M <sub>75/25</sub>	1.4811	0,998	25,27	10,97	0,999	M <sub>75/25</sub>	1,358	0,816	25,56	10,52	0,999
M <sub>50/50</sub>	1.4745	0,816	25,76	10,07	0,999	M <sub>50/50</sub>	1,219	0,816	25,17	12,45	0,999
M <sub>25/75</sub>	0,9879	0,816	25,86	12,61	0,999	M <sub>25/75</sub>	1,112	0,816	25,08	11,15	0,999
M <sub>0/100</sub>	0,6755	0,568	25,86	14,61	0,999	M <sub>0/100</sub>	0,7025	0,816	25,68	13,91	0,999

Tableau 2: Valeurs moyennes de conductivité thermique avec des paramètres d'observation correspondants des différents mélanges réalisés de mortier à base d'un mélange du sable naturel et du sable recyclé de débris de débris de terre cuite

⇒ λ : indique la conductivité thermique du matériau (W/m.k)

⇒ Observations :

➤ P : indique la puissance de chauffe

➤ T<sub>0</sub> : indique la température de départ

➤ dT : indique la variation de température max. doit être comprise entre 10 et 15°C

➤ A : indique le coefficient d'ajustement (%)

## 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 montrer la possibilité de recycler les débris des de maçonnerie « mortier de ciment, brique de terre cuite » et les utiliser comme des sables recyclés. Pour cela, dans la première partie on va recycler le mortier de ciment concassé, puis l'introduire avec le sable naturel comme un mélange afin de confectionner un mortier dosé à  $350\text{kg/m}^3$ , pour l'étude des caractéristiques mécaniques du mortier.

Dans la deuxième partie, on va étudier les caractéristique thermique du mortier à base de mélange : sable naturel et sable recyclé de (terre cuite, mortier de ciment) avec deux dosage différents :  $350\text{kg/m}^3$  et  $400\text{kg/m}^3$ .

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

## Abstract

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

The principal goal of this study is to show the possibility of recycling the remains of masonry "mortar cement, terra cotta brick" and of using them like recycled sands. For that, in the first part one will recycle the crushed cement mortar, then to introduce it with natural sand like a mixture in order to make a proportioned mortar with  $350\text{kg/m}^3$ , for the study of the mechanical characteristics of the mortar.

In the second part, one will study the thermal characteristic of the mortar containing mixture: natural sand and sand recycled of (terra cotta, cement mortar) with two proportioning different:  $350\text{kg/m}^3$  and  $400\text{kg/m}^3$ .

**Key words:** Valorisation, Recycling, Déchets, Masonry, Cement mortar, Brick.

## ملخص

في الجزائر. المنشآت مبنية في غالب الاحيان بالماسونية, فهو اذا يمثل الجزء الأكبر من بقايا تحطيم البنيات و التهديم.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة, هو تبين إمكانية إعادة استعمال بقايا عناصر الماسونية "ملاط الاسمنت, الأجر, " كرمل. لهذا في الجزء الأول, سنقوم بإعادة استعمال ملاط الاسمنت بطحنه ثم إدخاله كرمل, لغرض تشكيل ملاط جديد, بتركيز "  $350\text{kg/m}^3$  بغرض دراسة الخصائص الميكانيكية. في الجزء الثاني, سنقوم بدراسة الخصائص الحرارية لاسمنت مكون من خليط رمل طبيعي و رمل مرسل (اجر و ملاط الاسمنت) " مع تركيزين  $350\text{kg/m}^3$  و  $400\text{kg/m}^3$ .

**كلمات مفتاحية :** إعادة تقييم, إعادة استعمال, بقايا. الماسونية, ملاط الاسمنت, اجر.