

M0008/03B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

Département de Génie Civil

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Laboratoire Construction et Environnement

MEMOIRE DE MAGISTER

Présenté par : Souhila BEDJOU
Ingénieur d'Etat diplômé de l'E.N.T.P.

THEME

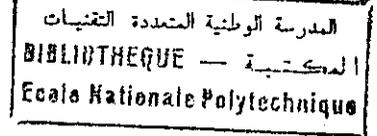
CONTRIBUTION A LA VALORISATION DES
DECHETS DE CONTRUCTION,

ETUDE DU RECYCLAGE DES DEBRIS DE TERRE CUITE

Soutenu publiquement le : 04 février 2003
Devant le jury composé de :

- M ^r A. BALI	Professeur, ENP d'Alger	Président
- M ^r K. SILHADI	Maître de Conférences, ENP d'Alger	Rapporteur
- M ^r S. KENAI	Professeur, U de Blida	Examineur
- M ^r R. BOUTEMEUR	Chargé de Cours, ENP d'Alger	Examineur
- M ^r A. LARIBI	Chargé de Cours, ENP d'Alger	Examineur
- M ^r R. OUMAZIZ	Directeur du CNERIB, Souidania	Invité
- M ^r M. IDIR	Chargé de Recherches, CNERIB	Invité

DEDICACES



Je dédie ce modeste travail :

A mon pays, l'Algérie, que Dieu le protège.

Aux êtres les plus chers au monde : ma mère et mon père.

A mes chères sœurs : Wahiba, Souad et Nabila.

A mes chers frères : Mourad, Farid et Nabil.

A ma chère grand-mère.

A mes tantes et mes oncles.

A ma chère copine DERIAS Fatima et sa famille dont je suis redevable le reste de ma vie.

A ma chère copine Faiza de l'ENP qui m'a soutenue le long de mon projet.

A M^{elle} F.OUSTANI du CNERIB pour son soutien le long de mon projet.

A M^e M.BOUSRI du CNERIB et sa petite famille pour leur accueil très amical et leur soutien.

A M. L.HAKIMI du CNERIB pour son aide et son grand soutien le long de mon travail.

A M^{elle} H.HAMRAOUI, M^{elle} W.BENTAALAH et M^{me} H.BENDERRADJI du CNERIB pour leur soutien et leur aide.

A M. Djamel et M^{elle} Nawel de la bibliothèque de l'ENP.

A M^{me} Nadia et M^{me} Debbiche de l'ENP pour leur soutien.

A Ami Boualem et M^{me} KHOUAS de l'ENTP.

A tous mes amis (es) pour leur présence et leurs encouragements en particulier : Hanane, Samia, Khadidja, Nawel, BADAOUI, LOUNICI, OUFFROUKH, RHREIB et .ZEGGAGH.

A tous mes enseignants de l'ENP.

A tous mes enseignants de l'ENTP.

A Toute la promotion 2000 de Post-graduation de l'ENP.

A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin.

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu, le Tout Puissant, de m'avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

J'exprime mes remerciements très s'insères à mon encadreur, Monsieur D^r K. SILHADI pour l'intérêt bienveillant qu'il a accordé à mon travail ainsi que pour ses judicieuses orientations.

Je tiens à remercier Monsieur le professeur A. BALI de m'avoir donné la possibilité de préparer ce travail de recherche.

Je voudrais remercier Monsieur R. OUMAZIZ, Directeur Général du CNERIB qui a accepté mon encadrement au sein du CNERIB.

J'exprime ma plus vive reconnaissance à Monsieur M. IDIR, chef du projet «Recyclage et valorisation des déchets de chantier», Chargé de Recherches au CNERIB, qui a aménagé un grand effort pour m'aider à mener à bien mon travail.

Je remercie Monsieur Y. BENNA pour les conseils qu'il ma prodigué tout au long de mon travail et pour son aide.

Je tiens à remercier toutes les personnes du CNERIB pour les nombreuses explications qu'ils m'ont patiemment données, l'aide technique précieuse qu'ils mon apportée et le grand bénéfice que j'ai tiré au contact de leur expérience, en particulier: M^{rs} SOUCI, AIT-SAID, ATTOUCHE, SATA, SENOUCI, BENOUALI, LAMINE, SAADOUNE, KIOUL, SI-SABER,, MALKI, RAHMOUNI, KROUBI, M^{elles} BAADA, MOUKES, HAMIDA, M^{me} BESSAIDI, M^{rs} BOUDIAF, GACI, HISHAM, BEDDIAF, BELHAMEL, KOUIDERI, LAZAZI et SAKHRAOUI.

Un remerciement tout spécial aux techniciens et aux ingénieurs du laboratoire du CTTTP qui m'ont donné la chance de réaliser les essais mécaniques, en particulier Monsieur ABDELBAKI pour sa précieuse aide. Je remercie également M^{me} BOULMALI, M^{me} MEDDAD, M^{me} BOUDJNOUNNE, M^{rs} HARBİ, OUGHANEM et son épouse, M^{rs} LOUAHAB, TOUATI, BOUDJALALI, AZEB, et M^{elle} Linda.

Je remercie tout particulièrement les personnes du Laboratoire-Chimie du LTPC en particulier M^{me} Khadidja.

Mes sincères remerciements vont également aux enseignants de Département Génie Civil de l'ENP.

Je tiens à remercier M. DAHLI de l'Université de Tizi-Ouzou et M. DEBIEB de l'université de Médéa pour Leur aide.

Je présente enfin l'expression de ma profonde gratitude aux membres du jury espérant qu'ils trouveront dans ce document la rigueur scientifique qu'ils attendent.

RESUME

La majorité des constructions algériennes utilisent des briques de terre cuite et assez souvent des tuiles de la même matière. Aussi le plus grosse partie des déchets de construction et démolition est constituée de débris de terre cuite. On a donc un gisement très important de ce matériau, actuellement inexploité et qui constitue une gêne environnementale. De plus le marché des granulats en Algérie vit une tension aigue, du fait de la limitation et de l'épuisement dans certaines régions comme celle d'Alger, des ressources naturelles et d'autre part de l'augmentation des coûts de transport.

L'objectif principal de cette étude est de montrer la possibilité de recycler les débris de terre cuite comme matériaux de construction. Aussi dans un premier temps, on abordera la problématique générale des déchets de chantiers et la méthodologie de bonne gestion de ces déchets en se basant sur les expériences étrangères dans ce domaine. On passera ensuite à l'établissement d'un état des lieux des déchets de chantiers en Algérie avec entre autres la présentation des résultats statiques d'une enquête nationale sur ce problème.

Dans une deuxième étape, on présentera la partie expérimentale qui a pour but essentiel de montrer la possibilité d'utiliser les débris de terre cuite dans des mortiers et bétons en les transformant en granulats. L'étude des caractéristiques physiques de tels granulats montre qu'ils sont acceptables pour la confection d'un béton hydraulique ou d'un mortier. Toutefois, ils ont un coefficient d'absorption d'eau très élevé à cause de la porosité de la terre cuite.

Des mortiers à base de 100% de sable de terre cuite broyé ont été confectionnés avec quatre dosages en ciment. Pour chaque dosage en ciment on a utilisé quatre dosages en eau de gâchage. Les résultats des essais physico-mécaniques de ces mortiers ont montré clairement que l'inconvénient majeur rencontré dans l'utilisation de ce type de sable est l'augmentation sensible de la quantité d'eau de gâchage. D'autres mortiers ont été essayés à base d'un mélange entre le sable recyclé et le sable naturel dans diverses proportions mais avec un seul dosage en ciment à 400 kg/m³ du sable sec et un seul rapport Eau/Ciment à 0.75. Des résultats tout à fait satisfaisants ont été obtenus et ont démontré la possibilité de confectionner des mortiers à base des deux sables. Pour diminuer la quantité d'eau de gâchage et pour améliorer la maniabilité, des mortiers à base de 100 % de sable recyclé de terre cuite avec addition de superplastifiant ont aussi été testés en fixant le dosage en ciment à 400 kg/m³. Ces essais ont permis de trouver des compositions nettement moins gourmandes en eau.

Enfin nous nous sommes intéressés à la confection d'un micro béton utilisant les fractions granulaires 0/3 et 3/8 de terre cuite concassée pour la fabrication de blocs d'agglomérés creux pour maçonnerie à base de 100 % de granulats recyclés. Cette dernière expérimentale a aussi donné des résultats intéressants et très encourageants.

LES MOTS CLES: déchet, environnement, gestion des déchets, déchet inerte, décharge, granulats recyclés, débris de terre cuite, mortier, bloc de béton

ملخص

تستعمل أغلبية البناءات الجزائرية الآجر الأحمر و خاصة القرميد الأحمر المصنوع بنفس المادة، الشيء الذي يؤدي إلي وجود كمية معتبرة من المواد الحمراء غير المستغلة مشكلة بذلك إزعاج بيئي، و إضافة إلى ذلك، يعيش سوق الحصى بالجزائر أزمة حادة بسبب نقص أو نفاذ الموارد الطبيعية في بعض المناطق كالجزائر العاصمة مثلا، من جهة، و ارتفاع تكلفة نقل هذه الموارد، من جهة أخرى.

يتمثل الهدف الرئيسي لهذه الدراسة في تحليل إمكانية إعادة استعمال بقايا المواد الحمراء لاستخدامها في شكل مواد بناء.

في مرحلة أولى، نقوم أولا بعرض الإشكالية العامة لبقايا الورشات و كذا طريقة حسن تسيير النفايات على أساس التجارب الأجنبية في هذا الميدان، و نقوم بعد ذلك بتشخيص و إحصاء مواقع بقايا الورشات في الجزائر و كذا تأثيرها على المحيط البيئي.

و في مرحلة ثانية، نقوم بعرض الجزء التجريبي الذي يهدف أساسا إلى تبيين إمكانية إعادة استعمال بقايا المواد الحمراء بتحويلها إلى حصى حيث نقوم:

- أولا بتقديم مميزاتها التي أثبتت أن لها خصائص مقبولة لصناعة الخرسانة و الملاط، و خلافا للحصى الطبيعية، تتميز الحصى المعاد استعمالها بعامل امتصاص الماء جد عال بسبب المسامية العالية للآجر الأحمر.

- و ثانيا بدراسة عدة جوانب من خلال صنع ملاط الإسمنت، إذ تجسد ذلك بصنع عدة تركيبات من الملاط المكون من 100% من الرمل معاد الاستعمال حيث تم اختيار أربعة (04) معايير من الإسمنت نختار لكل معيار إسمنت (4) معايير من الماء، بينت النتائج الفيزيائية- الكيميائية أن العائق الأساسي من جراء استعمال هذا النوع من الرمل يتمثل في الارتفاع المحسوس لكمية ماء الخلط بسبب المسامية التي يتطلبها الرمل و وجود كمية معتبرة من الدقائق لكون هذا الرمل مستخرج من عملية كسر الآجر الأحمر القابل للتفتيت.

تم تحضير تركيبات ملاط أخرى بخلطة من الرمل معاد الاستعمال و رمل طبيعي باستعمال 400 كلغ/م³ من الرمل الجاف لمعيار إسمنت و حددت النسبة ماء/إسمنت ب 0,75، تم الحصول من خلال هذه التجربة على نتائج هامة جدا حيث بينت إمكانية صنع ملاط باستعمال الرملين، و من أجل التخفيض من كمية ماء الخلط و تحسين الطواعية، تمت إضافة مادة مضافة لعدة خلطات من الملاط اعتمادا على 100% من الرمل معاد الاستعمال بمعيار إسمنت ب 400 كلغ/م³.

كما تم تنفيذ تجربة أخرى تتعلق بصنع نوعين من كتل الخرسانة، النوع الأول مصنوع من 100% من الحصى الطبيعي و النوع الثاني من الحصى معاد الاستعمال، بينت هذه التجربة إمكانية صنع كتل خرسانة اعتمادا على الحصى المعاد الاستعمال.

The majority of Algerian constructions are made of burnt clay bricks and often of tile made of the same material. That is why a very important non exploited burnt clay waste deposits exist and constitutes an environmental inconvenience. Also, the aggregate market in Algeria is experiencing an acute tension because of the natural resources limitation and depletion in some regions of Algiers, on one hand, and the rising cost due to transporting this resources, on the other hand.

The aim of this study is to show the possibility of recycling the burnt clay wastes as building materials.

The first part of the study deals with the general problematic of waste sites, the good management methodology of these wastes on the basis of foreign experiences in this field. It also deals with waste sites situation in Algeria and the impact of these wastes on the environment.

The second part deals with the experimental aspects in order to show the possibility of recycling the burnt clay wastes by transforming them in aggregates. Firstly, we present acceptable properties to manufacture a hydraulic concrete or a mortar. Contrary to natural aggregates, the recycled aggregates have very high water absorption coefficient because of the high porosity of the burnt clay. Secondly, the cement mortar manufacturing is discussed and several aspects of this field are studied.

Mortars based on 100% of recycled sand have been manufactured and where four mixing water content have been chosen and for each cement content we take four mixing water content. The physical - mechanical tests results of mortars have clearly shown that the great inconvenient of this sand type is the presence of an important quantity of mixing water due to sand porosity and also the presence of an important quantity of fines because this sand is obtained from burnt clay bricks which is friable.

Other mortar mixings have been prepared using a mixing constituted of recycled sand and natural sand which have a cement content of 400 Kg/m^3 of dried sand and also a w/c ratio of 0.75. Important results have been obtained and have shown the possibility to manufacture a-mortars with two sands. In order to minimize the mixing water and to improve its workability, a super plasticizer have been added and where several mixings with 100% of recycled sand have been prepared with a cement batching of $400\% \text{ Kg/m}^3$.

Another experimentation has been carried out concerning the manufacturing of two types of concrete blocks, one with 100% of natural aggregates and the second with 100% of recycled aggregates. This experimentation has shown the possibility to make concrete with recycled aggregates.

TABLE DES MATIERES



Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste d'abréviation et symboles	
Problématique	
Historique	

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1 : GESTION ET CONTROLE DES DECHETS DE CHANTIER	
1. INTRODUCTION	5
2. DEFINITION	5
3. METHODOLOGIE POUR LA BONNE GESTION DES DECHETS DE CHANTIER	6
3.1 Prévention des déchets de chantier	6
3.2 Le tri à la source des déchets de chantier	8
3.3 Valorisation des déchets de chantier	8
4. RESPONSABILITE DE LA GESTION DES DECHETS	8
5. IMPACT DES DECHETS DE CHANTIER SUR L'ENVIRONNEMENT	9
5.1 Problématique environnementale	9
5.2 Bâtir dans le respect de l'environnement	9
5.3 Cycle de vie des matériaux de construction	10
6. LA DECONSTRUCTION SELECTIVE	11
6.1 Définition de la déconstruction sélective	11
6.2 Objectif de la déconstruction sélective	11
6.3 Faisabilité de la déconstruction sélective	12
6.4 L'outil informatique	12
7. CONCLUSION	14
Chapitre 2 : VALORISATION ET RECYCLAGE DES DEHETS DU BATIMENT	
1. INTRODUCTION	15
2. NATURE DES DECHETS DE BATIMENT	15
2.1 Déchets de réhabilitation	16
2.2 Déchets de construction neuve	16
2.3 Déchets de démolition	17
2.4 Déchets de la production d'éléments de construction	17
3. ELABORATION ET UTILISATION DES GRANULATS RECYCLES	17
3.1 Type des installations de concassage - recyclage	18
3.1.1 Installation mobile	18
3.1.2 Installation fixe	18
3.2 Description des équipements d'une installation de concassage-recyclage	18
3.3 Différents types de concasseurs	19
3.4 Techniques de séparation des contaminants	20
3.5 Fonctionnement d'une installation de concassage -recyclage	21
3.6 Granulats recyclés produits	22

4. UTILISATION DES GRANULATS RECYCLES DANS LE MONDE	
4.1 Réglementation concernant les granulats recyclés dans le monde	
4.2 Production des déchets de chantier et utilisation des granulats recyclés dans le monde	
4.2.1 L'Europe	25
4.2.2 Les Etats Unis	27
4.2.3 Le Japon	27
5. TRAVAUX DE RECHERCHES ET ETUDES REALISES SUR LES DECHETS DU BATIMENT EN TANT QUE GRANULATS	27
5.1 Déchets de plâtre	27
5.1.1 Déchets de production	28
5.1.2 Déchets de chantier	28
5.2 Déchets de béton	29
5.3 Les débris de maçonnerie	30
5.3.1 Les déchets de terre cuite	30
5.3.2 Les déchets des produits silico-calcaire	31
6. CONCLUSION	31
Chapitre 3 : ETAT ACTUEL DES DECHETS DE CHANTIER EN ALGERIE	
1. INTRODUCTION	33
2. LE CADRE REGLEMENTAIRE ALGERIEN	34
2.1 La politique de protection environnementale	34
2.2 Législation et réglementation en matière de déchets de chantier	35
2.2.1 Contexte réglementaire jusqu'au 2001	35
2.2.2 La nouvelle loi sur l'environnement	35
3. LES DECHETS DE LA CONSTRUCTION EN ALGERIE	36
3.1 Problématique générale	36
3.2 Etat des déchets du sous secteur du bâtiment	37
3.2.1 Les déchets produits par les chantiers	37
3.2.2 Déchets de fabrication de matériaux et d'éléments de construction	40
3.3 Estimation théorique des déchets du bâtiment	42
4. GESTION DES DECHETS DE CHANTIER DE CONSTRUCTION EN ALGERIE	43
4.1 Situation des décharges : Questionnaire à l'échelle nationale	43
4.2 Enquête sur sites	45
4.2.1 Les décharges de déchets de chantier existantes dans la wilaya d'Alger	45
4.2.2 Détermination de la quantité et la qualité des déchets d'une décharge contrôlée : Décharge de Staoueli	52
5. EXPERIENCES ET RECHERCHES ALGERIENNES DANS LE DOMAINE DE RECYCLAGE DES DECHETS DU BATIMENT	55
6. APPROCHE ADDOPTEE POUR UNE CONTRIBUTION A L'ETUDE DU PROBLEME DE LA FAISABILITE DU RECYCLAGE EN ALGERIE	56
6: CONCLUSION	57

Chapitre 4 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

1. INTRODUCTION	58
2. MATERIAUX UTILISES	59
2.1 Granulats	59
2.2 Ciment	59
2.3 Eau de gâchage	61
2.4 Adjuvants	61
3. ESSAIS EFFECTUES SUR LES MATERIAUX	62
3.1 Essais effectués sur les sables	62
3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage	62
3.1.2 Module de finesse	63
3.1.3 Masses volumiques	64
3.1.4 Absorption d'eau	64
3.1.5 Compacité et porosité	65
3.1.6 Equivalent de sable	65
3.1.7 Analyse chimique	66
3.2 Essais effectués sur les gravillons	67
3.2.1 Analyse granulométrique par tamisage	67
3.2.2 Masses volumiques	68
3.2.3 Absorption d'eau	68
3.2.4 Propreté (impureté)	69
3.2.5 Résistance mécanique, essai Los-Angeles	69
3.2.6 Analyse chimique	70
4. CONCLUSION	71

Chapitre 5 : ESSAIS DE MORTIER A BASE DE DEBRIS DE TERRE CUITE

1. INTRODUCTION	72
2. PROCEDURES ET ESSAIS SUR MORTIER	73
2.1 Equipements	73
2.2 Confection du mortier	74
2.3 Essai de maniabilité	74
2.4 Essai de résistance à la traction par flexion	74
2.5 Essai de résistance à la compression	75
2.6 Essai d'absorption capillaire	76
2.7 Mesure du retrait	77
3. RESULTATS ET INTERPRETATION : CARACTERISATION DES MORTIERS	77
3.1 Etude du mortier à base de sable recyclé sans ajouts	77
3.1.1 Etude de la maniabilité du mortier frais	78
3.1.2 La masse volumique apparente	
3.1.2.1 Evolution de la masse volumique apparente dans le temps	79
3.1.2.2 Effet du rapport E/C sur la masse volumique apparente	80
3.1.3 Résistance à la compression	81
3.1.3.1 Accroissement de la résistance à la compression dans le temps	83
3.1.3.2 Etude de l'influence du rapport E/C sur le résistance à la compression	85
3.1.4 Résistance à la traction par flexion	86

3.1.4.1 Evolution de la résistance à la traction par flexion au cours du temps	86
3.1.4.2 Influence du rapport E/C sur la résistance à la traction par flexion	88
3.1.5 Rapport entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente	89
3.1.6 Influence de l'ambiance de conservation	89
3.2 Etude des ajouts sur un mortier dosé à 400kg/m ³	91
3.2.1 Mortier à base d'un mélange de sable naturel et de sable recyclé	91
3.2.1.1 Effet de la proportion de substitution en sable recyclé sur la maniabilité du mortier frais	92
3.2.1.2 Variation de la masse volumique apparente du mortier en fonction de la proportion de substitution en sable recyclé	93
3.2.1.3 Résistance à la compression	93
3.2.1.3.1 Evolution de la résistance à la compression au cours du temps	93
3.2.1.3.2 Effet de la proportion de substitution en sable recyclé sur la résistance à la compression	95
3.2.1.4 Effet de substitution en sable recyclé sur la résistance à la traction par flexion	96
3.2.1.5 Rapport entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente	97
3.2.1.6 Etude du retrait	97
3.2.1.7 Capacité d'absorption d'eau	98
3.2.2 Etude d'un mortier avec sable recyclé et adjuvant	99
3.2.2.1 Influence de l'adjuvant sur la maniabilité du mortier	100
3.2.2.2 Influence de l'adjuvant sur la masse volumique apparente	101
3.2.2.3 Effet de l'adjuvant sur la résistance à la compression	102
3.2.2.4 Effet de l'adjuvant sur la résistance à la traction	104
4. CONCLUSION	105
Chapitre 6 : BLOCS DE BETON A BASE DE DEBRIS DE TERRE CUITE	107
1. INTRODUCTION	107
2. UN PAYSAGE NORMATIF EN EVOLUTION SUR LES BLOCS DE BETON A BASE DE GRANULATS RECYCLES	107
3. PROCEDURES ET ESSAIS SUR LES BLOCS DE BETON	108
3.1 Equipements	108
3.2 Confection des blocs de béton	109
3.3 Essai de la résistance à la compression	110
3.4 Mesure de la conductivité thermique	111

4. RESULTATS ET INTERPRETATION—CARACTERISATION DES BLOCS DE BETON	112
4.1 Caractéristiques d'aspect et dimensions des blocs	112
4.2 Détermination de la masse volumique apparente des blocs	112
4.3 Résistance à la compression des blocs	113
4.4 Conductivité thermique	114
5. CONCLUSION	115
CONCLUSIONS GENERALE	116
RECOMMANDATIONS	120
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	123
ANNEXES	
Annexe 1 : Les déchets de chantier en Algérie	
Annexe 2 : Essais et résultats sur les débris de terre cuite	

Liste des tableaux

	Pages
Tableau 2.1 : Classification des gros granulats recyclés par la RILEM	23
Tableau 2.2 : Les différentes limites proposées par la RILEM	24
Tableau 2.3 : Destination des déchets de construction et de démolition dans les pays d'Europe (Période 1990-2000)	25
Tableau 3.1 : Statistiques des déchets solides en 1996	36
Tableau 3.2 : Etat physique des vieux immeubles de la capitale	38
Tableau 3.3 : Production annuelle des éléments de maçonnerie (entre 1999 et 2000)	40
Tableau 3.4 : Estimation théorique de la production annuelle des déchets du bâtiment	42
Tableau 3.5 : Situation des décharges dans le pays	44
Tableau 3.6 : Taxation de mise en décharge (donnée par l'EPIL-ASRout)	52
Tableau 3.7 : Typologie des déchets déposés à la décharge de Staoueli pour la période du 2/07/2000 au 6/07/2000	53
Tableau 3.8 : Quantité des déchets durant le mois de novembre 2000	54
Tableau 4.1 : Analyse chimique des deux ciments	59
Tableau 4.2 : Analyse minéralogique des deux ciments	60
Tableau 4.3 : Résistances mécaniques	60
Tableau 4.4 : Résultats des essais physiques des deux ciments	60
Tableau 4.5 : Caractéristiques des adjuvants utilisés	61
Tableau 4.6 : Essais effectués sur les matériaux utilisés	62
Tableau 4.7 : Masses volumiques des deux sables.	64
Tableau 4.8 : Coefficient d'absorption d'eau des deux sables	64
Tableau 4.9 : Compacité et porosité des deux sables	65
Tableau 4.10 : Equivalent de sable des deux sables	65
Tableau 4.11 : Analyse chimique sommaire des deux sables	66
Tableau 4.12 : Masses volumiques des deux gravillons	68
Tableau 4.13 : Coefficient d'absorption d'eau des deux gravillons	68
Tableau 4.14 : Pourcentage d'impureté des deux gravillons	69
Tableau 4.15 : Résistance mécanique «Los Angles » des deux gravillons	69
Tableau 4.16 : Analyse chimique sommaire des deux gravillons	70
Tableau 5.1 : Maniabilité des différents mortiers préparés	78
Tableau 5.2 : Masses volumiques des mortiers de sable recyclé	79
Tableau 5.3 : Résistances à la compression	83
Tableau 5.4 : Résistances à la traction par flexion	86
Tableau 5.5 : Résultats de la masse volumiques apparente pour les deux cas de Conservation	89
Tableau 5.6 : Résistances à la compression pour les deux cas de conservation	90
Tableau 5.7 : Résistances à la traction par flexion pour les deux cas de conservation	90
Tableau 5.8 : Résultats des différents mélanges	91
Tableau 5.9 : Résistances à la compression des différents mortiers (E/C=0.75) en fonction de la proportion de sable de terre cuite et rapport en pourcentage avec le mortier à 100 % de sable naturel	94
Tableau 5.10 : Résultats de l'essai de traction par flexion	96
Tableau 5.11 : Résultats obtenus à différents âges et pour des mortiers à base de mélanges de sable naturel et de terre cuite	97

Tableau 5.12 : Résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité au cours du temps (jusque 90 minutes)	98
Tableau 5.13 : Résultats des différents essais effectués pour les deux types d'adjuvants	100
Tableau 5.14 : Résultats de la maniabilité	100
Tableau 5.15 : Les masses volumiques apparentes	101
Tableau 5.16 : Résistances à la compression du mortier recyclé avec ajout d'un superplastifiant	103
Tableau 5.17 : Résistances à la traction par flexion du mortier recyclé avec ajout d'un superplastifiant	104
Tableau 6.1 : Caractéristique des gâchées réalisées	109
Tableau 6.2 : Classe de résistance des blocs en béton selon la norme NF P 14-301	110
Tableau 6.3 : Dimension moyennes des deux types de blocs	112
Tableau 6.4 : Masses volumiques apparentes des blocs en fonction de l'âge de conservation	112
Tableau 6.5 : Résistance à la compression des blocs en fonction de l'âge de conservation	113

Liste des figures

	Page
Figure 1.1 : Modèle du cycle de vie d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art	10
Figure 1.2 : Principe du modèle informatisé du démontage de recyclage des déchets	13
Figure 2.1 : Installation de concassage-recyclage	22
Figure 3.1 : Déchets de chantiers de construction	37
Figure 3.2 : Déchets issus des travaux de transformation	39
Figure 3.3 : Dépôts sauvages des déchets de chantiers	39
Figure 3.4 : Répartition des déchets du bâtiment (estimation théorique)	43
Figure 3.5 : Dépotoir de déchets (Béni-Messous - Sortie vers la forêt de bainem)	45
Figure 3.6 : Dépotoir de déchets (El Quaria- chéraga)	46
Figure 3.7 : Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte de l'Ouest algérois (axe Ain Benian- Chéraga –Ouled Fayet)	47
Figure 3.8 : Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte de l'Ouest algérois (axe chéraga – Ouled Fayet –Douéra)	48
Figure 3.9 : Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte de L'Ouest algérois (axe Douéra – Chéraga – Bouzaréah)	49
Figure 3.10 : Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte l'Ouest algérois (axe Ain Bénian – les Dunes – Staouéli)	50
Figure 3.11 : Vue partielle de la décharge de Staouéli	51
Figure 3.12 : Vue partielle de la décharge du Hamiz	52
Figure 3.13 : Répartition par type de déchets déposés à la décharge de Staoueli (période du 2/07/2000 au 6/07/2000)	53
Figure 4.1 : Distribution granulométrique des deux sables	63
Figure 4.2 : Distribution granulométrique des deux gravillons	67
Figure 5.1 : Dispositif de l'écrasement à la compression	75
Figure 5.2 : Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire	76
Figure 5.3 : Evolution de la maniabilité pour chaque dosage en ciment en fonction du rapport E/C	78
Figure 5.4 : Evolution de la masse volumique apparente des mortiers à base de sable de terre cuite en fonction du temps	80
Figure 5.5 : Masses volumiques apparentes à 7 jours en fonction du rapport E/C et du dosage en ciment	81
Figure 5.6 : Masses volumiques apparentes à 28 jours en fonction du rapport E/C et du dosage en ciment	82
Figure 5.7 : Evolution de la résistance à la compression pour chaque dosage en ciment	84

Figure 5.8 : Résistance à la compression à 7 jours en fonction du rapport E/C pour chaque dosage en ciment	85
Figure 5.9 : Résistances à la compression à 28 jours en fonction du rapport E/C Pour chaque dosage en ciment	85
Figure 5.10 : Evolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps pour chaque dosage en ciment	87
Figure 5.11 : Par dosage en ciment, variation des résistances à la traction par flexion à 7 jours en fonction du rapport E/C	88
Figure 5.12 : Par dosage en ciment, variation des résistances à la traction par flexion à 28 jours en fonction du rapport E/C	88
Figure 5.13 : Variation de la maniabilité en fonction du pourcentage de substitution en sable recyclé	92
Figure 5.14 : Masse volumique apparente en fonction de la proportion de substitution en sable recyclé	93
Figure 5.15 : Evolution de la résistance au cours du temps	94
Figure 5.16 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en sable recycle de terre cuite à 7 et 28 jours	95
Figure 5.17 : Evolution de la résistance à la traction par flexion pour différents pourcentages de substitution en sable recyclé	96
Figure 5.18 : Evolution du retrait des différents mortiers réalisés	98
Figure 5.19 : Evolution de l'absorption d'eau par capillarité des mortiers	99
Figure 5.20 : Variation de la masse volumique apparente des deux types du mortiers dans le temps, avec E/C =0.75	101
Figure 5.21 : Variation de la masse volumique apparente des deux types du mortiers dans le temps à maniabilité constante	102
Figure 5.22 : Evolution de la résistance à la compression des deux types de mortiers dans le temps, avec E/C =0.75	103
Figure 5.23 : Evolution dans le temps de la résistance à la compression des deux types de mortiers à maniabilité maintenue à 13 s	103
Figure 5.24 : Evolution de la résistance à la traction par flexion des deux types du mortier au cours du temps avec E/C =0.75	104
Figure 5.25 : Evolution de la résistance à la traction par flexion des deux types du mortier au cours du temps à maniabilité constante	105
Figure 6.1 : Evolution de la masse volumique apparente des deux types de bloc à différents âges	113
Figure 6.2 : Evolution de la résistance à la compression des deux types de bloc à différent âge	114

- CEN : Comité Européen de Normalisation
 CIB : Conseil International du Bâtiment
 FNB : Fédération National du Bâtiment. France
 ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. France
 CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. France
 CSTC : Centre Scientifique et Technique de la Construction. Belgique
 CEBTP : Centre Expérimental de recherches et d'études du Bâtiment et des Travaux Publics. France
 CEE : Commission Economique pour L'Europe
 DTU : Documents Techniques Unifiés
 IFARE-DFIU : Institut Franco-Allemand de Recherche sur L'Environnement
 REWARD : REcycling WASTE Research and Development programme
 IRSIA : Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et L'Agriculture, Bruxelles. Belgique
 ASROUT : ASSainissement et ROUTEs- Etablissement publique sous la tutelle de la wilaya d'Alger.
 RILEM : Regroupement International des Laboratoires de recherche et D'Essais pour Matériaux et structures.
 CPJ : Ciment Portland Composé
 CPA : Ciment Portland Artificiel
 G_N : Gravillon naturel
 G_R : Gravillon recyclé
 S_N : Sable naturel
 S_R : Sable recyclé
 C : Compacité
 P : Porosité
 $M_{N/R}$: Mortier à base de sable naturel et de sable recyclé
 R_{cj} : Résistance à la compression à j jours
 R_{tj} : Résistance à la traction par flexion à j jours
 B_T : Bloc de béton à base de granulats naturels
 B_R : Blocs de béton à base de granulats recyclé
 E/C : rapport Eau du Ciment

Gros consommateur de matières premières, le secteur de la construction est également gros producteur de déchets. Les déchets de construction et de démolition se composent en majeure partie d'une fraction pierreuse inerte, très facile à concasser et à recycler, pouvant servir de substitut au granulats naturel dans des applications moins exigeantes telles que remblais, sous fondations ou fondations.

De petits pays comme la Belgique, les Pays-Bas ou le Danemark, à forte densité de population et pauvres en matières premières, ont joué un rôle de précurseur et possèdent déjà une expérience de plusieurs années en la matière [1]. Dans une période où le souci de protection de l'environnement prend une place de plus en plus grande, l'emploi de matériaux recyclés offre trois avantages majeurs et indiscutables :

- ❖ l'économie des décharges dont on cherche à réduire le nombre et l'usage ;
- ❖ l'économie des carrières qu'il convient de réserver aux usages adaptés à leur qualité ;
- ❖ des économies de transport puisqu'il s'agit en réalité de matériaux « locaux ».

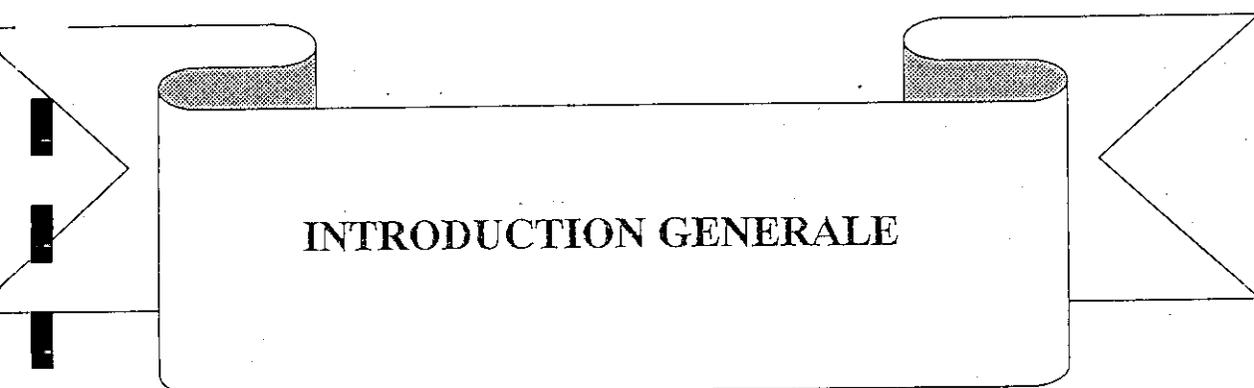
Après une bonne dizaine d'années d'usage (chantiers de mise au point, chantiers pilotes), il apparaît que les matériaux de recyclage offrent une véritable alternative technique et économique dans bon nombre de chantiers, jusqu'aux autoroutes pour certaines applications. Les diversités des matériaux produits, conséquence de la diversité des matières premières et des différentes techniques de traitement, permettent de répondre à un large éventail d'applications, depuis les simples remblais jusqu'aux assises de chaussées à trafic lourd [2].

L'Algérie accuse un retard notable dans le domaine du recyclage des matériaux de construction et de démolition. De fait le gisement des matériaux de construction et de démolition est largement sous-exploité. Les informations sur les quantités et les qualités des déchets générés annuellement dans nos chantiers ne sont pas disponibles. Pour combler cette lacune, une enquête nationale a été réalisée au sein du centre national CNERIB, avec la collaboration du ministère de l'environnement. Les résultats détaillés de cette enquête seront présentés au chapitre trois. Parmi les raisons de cette situation actuelle, figure l'absence d'une stratégie bien précise sur la gestion des déchets de construction et de démolition. La complexité de la réglementation dispersée entre plusieurs textes ou projets, dont la cohérence future est à construire. Actuellement, la politique nationale pour la sauvegarde de l'environnement, oblige chacun depuis le concepteur au constructeur, d'utiliser des quantités importantes de déchets du chantier pour apporter une solution aux problèmes liés à l'environnement. Il est certainement temps de se préoccuper au développement de la récupération de ces déchets.

Le principe du recyclage de matériaux était déjà employé par les romains. En effet, ils détruisaient les statues des dieux qui n'étaient plus vénérés et les matériaux récupérés servaient à en faire de nouvelles [3]. Pendant et après la seconde guerre mondiale, les gravats provenant des bâtiments détruits par les bombardements étaient employés en Grande Bretagne et en Allemagne, pour la reconstruction de bâtiments [3]. Les publications de cette époque soulignent notamment l'intérêt du réemploi des matériaux de démolition (qui comportaient une forte proportion de briques) et citent les premiers résultats sur les granulats provenant du concassage de béton. Cette période d'après-guerre est suivie d'une pause assez longue dans les études, jusqu'à la publication par Buck, d'un rapport de recherche en 1973 puis la présentation, par le même auteur, d'une communication en 1976 sur l'étude des propriétés physiques des granulats de «béton recyclé» et la comparaison des résistances mécaniques des bétons neufs et recyclés. Les résultats obtenus sont confirmés par Malhotra et complétés par des observations aux microscopes optique et électronique à balayage sur les matrices de ciment hydraté. Frondistou-Yannas et Tomasawa mesurent les modules d'élasticité et de retrait d'hydratation du béton recyclé. A partir de 1975, on procède aux Etats-Unis aux premières tentatives de recyclage dans des couches de fondation de chaussées de granulats provenant du concassage de béton armé et non armé. La faisabilité de ces opérations est confirmée en 1977 dans deux publications de Frondistou-Yannas tandis que Wilson évalue les «ressources potentielles de débris de démolition aux Etas - Unis» et les seuils de rentabilité des opérations de recyclage [4].

En 1981, la RILEM a créé le comité technique 37-DRC [3] (Demolition and Reuse of Concrete) afin d'établir des recommandations et des normes pour la démolition et la réutilisation du béton et de la maçonnerie ; en 1988, ce comité pris fin avec la création en 1989 d'un nouveau comité technique, DRG (Demolition and Reuse Guidelines), ayant pour objectif l'élaboration d'un guide pour la démolition et l'utilisation dans le béton de granulats obtenus par le recyclage des matériaux de démolition. Les travaux de ce comité sont arrivés à leur terme en 1993. Trois congrès sur la démolition et la réutilisation du béton et de la maçonnerie ont été organisés par la RILEM : aux Pays-Bas (Rotterdam en 1985), au Japon (Tokyo en 1988) et au Danemark (Odense en 1993) [3].

Des projets de normalisation et des guides internationaux sur le recyclage des déchets de chantier sont en cours d'élaboration depuis 1996 et entrepris par la RILEM et le CEN. En France, par exemple, la loi du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets et protection de l'environnement, interdit à partir de l'an 2002 la mise dans les centres d'enfouissement technique (anciennes décharges) des déchets tels que les matériaux de démolition, en particulier les déchets de béton et de maçonnerie [1, 3].



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'environnement fait l'objet d'une attention accrue depuis quelques décennies. La crise de l'énergie qui a marqué le début des années 70 a, en tout les cas, joué un rôle majeur à cet égard, car elle a fait prendre conscience à la société que l'énergie et les ressources de la planète en générale n'étaient pas inépuisables. Mais l'environnement ne se limite pas au seul aspect énergétique. On constate que des thèmes tels que la pollution de l'air, des eaux de surfaces, des eaux souterraines et du sol ainsi que la prévention de la gestion des déchets ont acquis au moins autant d'importance [1].

Les déchets constituent un sujet qui devient chaque jour de plus en plus d'actualité. Quel que ce soit le type de déchets ou polluant auquel il faut faire face le schéma de lutte par lequel est abordé ce problème est partout presque le même :

- ❖ On définit d'abord une politique environnementale claire et évolutive. Cette politique se traduit par une législation qui elle, établit un canevas réglementaire s'accommodant à la réalité en prenant en charge, au mieux, tous les aspects liés à la problématique environnementale.
- ❖ Les autorités locales, régionales ou territoriales veillent à l'application de cette réglementation. Elles définissent-elles aussi, chacune selon la spécificité de sa région, les moyens et les voies qui les amèneront à l'application de leur programmes d'action.
- ❖ Mise au point d'une politique de valorisation et de recyclage, par une approche technico-économique, des produits et déchets mis en décharge.

Le secteur du BTP est amené, lors des opérations de construction, de réhabilitation et surtout de démolition, à rejeter d'importantes quantités de déchets. Or le recyclage de ces déchets diminue la dégradation et la dispersion des ressources naturelles et des matières primaires ou vierges, constituant des filières de proximité. Il faudrait donc assimiler le matériau recyclé à un matériau local - voire à une ressource - renouvelable du fait de sa disponibilité. Cela implique donc de gérer les déchets de chantier dans l'espace et dans le temps. La première priorité à prendre en considération est de collecter les matières minérales séparément des autres matériaux et de les traiter de telle sorte qu'elles puissent être réutilisées comme matériaux de construction. Mais aussi, plus on utilise de matériaux, plus d'informations, d'énergie et de travail pour les séparer. La conception de l'infrastructure urbaine doit inclure la gestion des matériaux utilisés, la gestion des déchets et le recyclage.

Presque toutes les activités industrielles portent atteinte aux ressources naturelles et impliquent en général une certaine dégradation de l'environnement [2]. En réutilisant dans la construction des déchets d'origines diverses, on préserve les ressources naturelles tout en réduisant le nombre de décharge. Dans le secteur de la construction, on sera de plus en plus amené :

- ❖ à diminuer autant que possible la production de déchets à la source et cela, en modifiant les processus de fabrication et en recyclant davantage ;
- ❖ à avoir une approche différente de l'élimination des déchets ;
- ❖ à utiliser des produits finis incorporant des déchets dans leur composition.

Les opérations indispensables pour une bonne gestion des déchets telles que la quantification et la qualification des déchets, la détermination des possibilités de valorisation et l'analyse des filières sont, en effet, simplifiées par une meilleure connaissance des déchets produits.

Dans les pays européens, la valorisation des déchets de chantier est perçue, aujourd'hui comme une nécessité urgente qu'il faut prendre en charge. En effet devant une prolifération importante de rebut et gravats de construction générés par un développement intensif des activités du BTP, (démolition, réhabilitation, construction, etc...), les espaces réservés au développement de ces déchets se réduisent de plus en plus et deviennent de ce fait saturés. Cette situation met en péril l'aspect environnemental dont la préservation demeure l'une des préoccupations majeures actuelles de ces pays [3]. La volonté de valorisation de ces déchets va entraîner une évolution importante des techniques et pratiques de la démolition du fait de l'obligation de tri qu'elle implique. Cependant, cette valorisation dépend également des filières locales de valorisation existantes. Mais le développement du recyclage des granulats dépend de décisions politiques. Il est en effet fortement dépendant :

- ❖ du coût de mise en décharge ;
- ❖ des taxes de mise en décharge ;
- ❖ de la distance des décharges par rapport à celle du centre de recyclage ;
- ❖ de la réglementation : tri obligatoire, recyclage obligatoire, modalité de contrôle, type et contraintes du permis de démolir, etc.

Le marché des granulats en Algérie vit une tension assez aiguë, du fait de la limitation et de l'épuisement dans certaines régions comme Alger, des ressources naturelles et d'autre part de l'augmentation des coûts de transport de ces ressources. Afin de palier à ces insuffisances sur la production des granulats, diverses actions ont été lancées. De plus, les infrastructures routières et urbaines vieillissent très vite et nécessiteront des travaux de réfection ou en définitivement, des travaux de démolitions. Or, ces travaux génèrent des quantités importantes de déchets qu'on devra entreposer ou réutiliser. Les déchets de chantier étant quasiment passés sous silence devant l'ampleur des problèmes posés par les déchets ménagers. C'est pourquoi il est important de sensibiliser rapidement les responsables locaux aux problèmes spécifiques des déchets de chantier. En plus, ces déchets ne sont pas identifiés de façon spécifique dans la réglementation algérienne puisqu'ils sont comptabilisés le plus souvent dans les déchets industriels, ils sont encore trop souvent oubliés voire méconnus des personnes chargées d'élaborer les plans de construction. La quantité de déchets de construction et de démolition peut être estimée à des millions de tonnes par an (non comprises les terres de déblais). Vu leur haut potentiel de recyclage, il est inconcevable de continuer à encombrer les décharges (non contrôlées par ailleurs). Nous devons à la fois respecter l'environnement et sauvegarder nos ressources naturelles. Le respect de notre environnement nous oblige en effet à limiter au maximum le nombre de décharges. Quant à la sauvegarde des ressources naturelles, il est évident que nous devons veiller à prolonger au maximum la durée d'exploitation de nos carrières et donc à encourager l'utilisation de granulats de substitution. Les granulats recyclés peuvent être généralement utilisés comme matériaux de construction. Dans la plupart des cas, les produits de recyclage des déchets de construction et de démolition peuvent être utilisés dans les remblais, sous fondation, bétons maigres et éventuellement pour les concassés de débris et d'enrobés hydrocarbonés en fondation de routes.

Aujourd'hui, les impératifs liés à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources naturelles conduisent à considérer le recyclage des débris comme une nécessité et l'optimisation de leur réutilisation comme un des défis majeurs que notre société doit relever. Le but du traitement des débris est double :

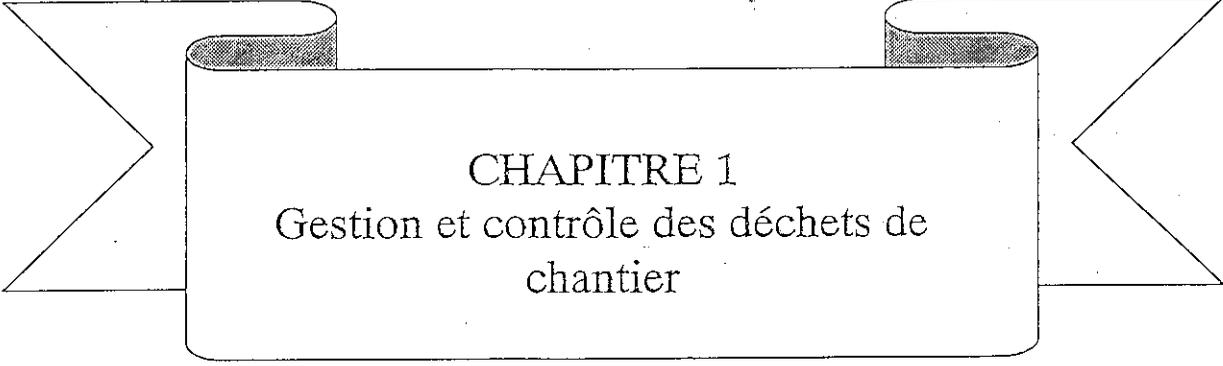
- ❖ Enlever les éléments non désirés tels les armatures en fer, le bois, le plastique, etc., qui polluent et affectent les caractéristiques des granulats produits ; la présence des terres dans les débris est souvent sanctionnée.
- ❖ Concasser les débris de dimensions importantes pour obtenir des granulats de dimensions voulues qui ont ensuite séparés en différents calibres. A cette fin, il est nécessaire de mettre en place des installations de recyclage pour traiter généralement, des déchets de béton, de maçonnerie, d'asphalte ou encore des déchets mixtes.

Au vu de la situation en matière de logements, d'infrastructures de base et d'équipements hydrauliques, l'Algérie connaîtra dans les années à venir une croissance dans ces secteurs générateurs de déchets dont la problématique se pose d'ores et déjà notamment dans les grands centres urbains. Les besoins croissants en matériaux de construction au cours des dernières années ont entraîné, en de nombreux endroits, notamment dans des zones urbaines, un épuisement des ressources de matériaux traditionnellement utilisés. La distance de transport entre le lieu de production et le site de construction ne cesse donc d'augmenter. Outre leur demande en matériaux de construction, les mêmes zones se caractérisent souvent par une importante production de déchets compatibles avec les problèmes de l'environnement. Il est donc impératif d'étudier l'impact des déchets sur l'environnement et d'aller vers des solutions permettant leur prise en charge à tous les niveaux. C'est dans cet esprit qu'elle est abordée notre étude qui se veut une amorce à la réflexion sur les déchets de chantiers en Algérie. Selon les informations recueillies auprès du ministère de l'environnement, aucune étude n'a été faite auparavant sur les déchets de chantier en Algérie et leur impact sur le milieu environnemental.

Le présent travail vise plusieurs objectifs, à savoir :

- ❖ Etablir une méthodologie qui précisera de quelle manière on peut gérer et utiliser les déchets de chantiers.
- ❖ Montrer la possibilité de recycler et de valoriser ce type de déchets et les différents outils et techniques utilisés pour la bonne prise en charge de ces déchets.
- ❖ Présenter des expériences étrangères faites par les pays développés conscients de l'ampleur des déchets et leur impact sur le milieu environnemental. Une expérience européenne en terme de gestion de ces déchets a été établie afin de montrer la problématique de ce type de déchets qui y est de mieux en mieux maîtrisée dans les pays européens et ceci grâce à une politique de prévention, d'élimination et de valorisation clairement définie.
- ❖ Etablir un état des lieux des déchets de chantiers en Algérie. Les différents aspects, notamment ceux relatifs à la réglementation et à la gestion de ces déchets seront montrés dans notre étude.
- ❖ Etudier et analyser la possibilité d'utiliser les débris de terre cuite comme granulats pour mortiers ou blocs de béton.

Notre travail a été effectué au sein du Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment et qui entre dans le cadre d'un Programme National de Recherche qui porte sur la «Valorisation des déchets de construction». Notre travail comporte deux parties. On présentera dans un premier temps la méthodologie à la bonne gestion des déchets de chantiers. Cette revue de la littérature traitera les différents types de déchets de chantiers du bâtiment et leur problématique, ainsi plusieurs expérimentations ont été présentées pour arriver à clarifier les objectifs fixés précédemment. Le troisième chapitre de la première partie sera consacré à l'établissement d'un état des lieux des déchets de chantiers en Algérie, en montrant la problématique actuelle de des déchets et leur impact sur l'environnement. La deuxième partie est expérimentale qui a pour objectif essentiel de recycler les débris de terre cuite comme matériaux de construction. Le quatrième chapitre présentera les caractéristiques des granulats issus du concassage de débris de terre cuite, ainsi une comparaison sera faite entre ces granulats et les granulats naturels. Par la suite, on présentera dans le chapitre cinq, la possibilité de confectionner des mortiers de ciment à base du sable issu du concassage de débris de terre cuit. Plusieurs paramètres seront présentés afin de montrer le comportement des mortiers fabriqués par ce type de sable. Le sixième chapitre sera consacré à l'utilisation des granulats issus du concassage de débris de terre cuite pour la confection des blocs de béton.



CHAPITRE 1
Gestion et contrôle des déchets de
chantier

PREMIER CHAPITRE

GESTION ET CONTROLE DES DECHETS DE CHANTIER

1. INTRODUCTION

Les sociétés humaines produisent depuis toujours des déchets liés à leur activité et à leur mode de consommation. La gestion de ces déchets pose à nos sociétés un problème aigu. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet état de fait. Elles tiennent, pour l'essentiel à l'abondance et à la diversité des produits que nous fabriquons, aux surconsommations et surexploitations locales, à notre capacité de dispersion des produits à grande échelle, etc. A cela s'ajoute la prise de conscience «écologique» qui nous interroge sur les conséquences à moyen et long termes des altérations sensibles des milieux physiques (eau, air, sol) et vivants (flore, faune) qui résultent de notre activité. Au plan scientifique et technique, l'approche de ce problème nécessite le concours de toutes les disciplines. A cela s'ajoute l'importance des aspects économiques, sociologiques et psychologiques toujours difficiles à appréhender [5].

Le recyclage des déchets de chantier nécessite la mise en place d'une véritable politique de gestion de ces déchets. Ainsi les pays développés ont engagé dans ce sens, les entreprises du bâtiment installent des plates-formes de regroupement des déchets de chantier qui permettent d'entreposer provisoirement des petites quantités de déchets du bâtiment amenés par les professionnels. Elles mettent également en place des plates-formes de tri et de pré-traitement des déchets. Ces plates-formes sont essentiellement axées vers la valorisation et le recyclage des déchets, le pré-traitement devant permettre le renvoi des matériaux vers les filières industrielles dont ils sont issus. Les contraintes d'ordre économique, politique et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaires la valorisation et le recyclage des déchets, auparavant mis en décharge [6].

Dans ce chapitre, on présentera les aspects techniques, économiques et environnementaux en terme de bonne gestion des déchets de construction et de démolition.

2. DEFINITION

Dans la littérature, le «déchet» est défini comme tout objet, matériel ou substance dérivée des activités humaines ou des fonctions des corps des êtres humains ou des animaux domestiques et qui ne répond plus à l'objectif pour lequel il était destiné et qui ne semble plus utile aux yeux de son propriétaire, pour une utilisation à d'autres fins. Il devient déchet quand son propriétaire ou son agent décide de s'en débarrasser en le retournant à un milieu naturel (généralement l'eau ou le sol) ou en le remettant sous la responsabilité de la communauté, de la municipalité ou de l'entité de collecte des déchets [5].

Selon le dictionnaire anglais Oxford : le déchet est quelque chose qui n'a plus de valeur. Le déchet, cependant, est un terme général, dont la signification précise a besoin d'être clarifiée. En fait, il est plus correct de considérer que le terme de déchet se réfère à une matière ou à un objet qui a été utilisé au moins une fois et qui n'a plus de valeur pour le propriétaire ou l'utilisateur original. Mais à ce moment là, le déchet ne devient pas nécessairement un objet inutile, il peut encore être réutilisé ou recyclé [7].

3. METHODOLOGIE POUR LA BONNE GESTION DES DECHETS DE CHANTIER

La gestion des déchets représente un des enjeux majeurs de notre société. Elle constitue un élément marquant dans l'évolution vers un équilibre plus durable entre activités humaines et développement socio-économique, d'une part, ressources et capacité de régénération de la nature, d'autre part. En matière de politique de gestion des déchets, la prévention à la source est la première priorité. Comme il est impossible d'éviter totalement leur production, le réemploi, le recyclage ou toute autre forme de valorisation (régénération, valorisation énergétique, ...) doit être préférée à l'élimination.

Le secteur de la construction est en mesure de participer au relèvement de ce défi, d'abord en limitant sa propre production de déchets, puis en utilisant des matériaux intégrant, en tout ou en partie, des déchets recyclés provenant de ses activités, mais aussi de celles d'autres secteurs industriels [8].

3.1 Prévention des déchets de chantier

La prévention et la gestion des déchets de construction et de démolition font partie intégrante du développement durable du secteur de la construction et impliquent la participation de tous : maître d'ouvrage, maître d'oeuvre, entrepreneurs et sous-traitants. La conception d'une telle construction selon le développement durable est l'ensemble de démarches à prendre en compte qui, dès premières esquisses de l'architecte doivent tenir compte du triple contexte, climatique, physique et urbanistique [10]. Sur le plan de la prévention des déchets, l'utilisation d'éléments préfabriqués présente des avantages incontestables, puisqu'elle permet de réduire considérablement la production des déchets :

- coffrage-outils (préfabriqués) utilisables plusieurs fois ;
- quasiment pas de déchets de matières de base (ciment, sable, granulats) sur chantier ;
- pas de pertes de production due aux conditions climatiques ;
- possibilité de mieux gérer et trier les flux de résidus qui apparaissent quand même.

D'autres solutions peuvent contribuer à la prévention et à la gestion des déchets de construction et de démolition, entre autres [1]:

- la substitution du granulat secondaire aux matières premières naturelles. Dans le contexte du développement durable, l'emploi des granulats de débris dans le béton semble le plus opportun (plusieurs cycles de réemploi);
- le tri et l'évacuation vers des centres de tri et de recyclage agréés : il est intéressant de séparer sur le chantier la fraction pierreuse, les déchets dangereux, les métaux et les déchets d'emballage, en les stockant éventuellement dans des conteneurs appropriés ou d'autres dispositifs, pour lesquels il faudra évidemment prévoir de l'espace.
- la démolition par tri : elle consiste à séparer à la source de grandes quantités de gravats, bois, métaux ou déchets dangereux, et à les acheminer vers des sociétés habilitées à recycler ces fractions de déchets. Pour que l'opération soit une réussite, il est nécessaire de programmer les travaux de démolition en plusieurs phases.

3.2 Le tri des déchets de chantier

Le tri, soit sur le chantier, soit dans un centre de tri, permet d'augmenter la pureté de la fraction valorisable des déchets. Plusieurs critères doivent être pris en compte comme le volume des déchets, la place disponible sur le chantier et la difficulté du tri lui-même car certains matériaux sont difficiles à caractériser sur le chantier. Dans les pays développés notamment les pays européens et les Etats-Unis, les déchets de chantier sont triés à la source et une autre quantité passera dans des centres de tri. Le centre de tri constitue une structure essentielle pour assurer la qualité des matières récupérables [11].

3.3 Valorisation des déchets de chantier

La valorisation est l'action de donner de la valeur à quelque chose [7]. Le déchet peut être valorisé selon trois méthodes dans l'ordre préférentiel suivant :

- **La réutilisation** : consiste à utiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi ou à faire à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui a donné naissance [12].
- **Le recyclage** : c'est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve [7]. Pour préserver les ressources naturelles et réduire les quantités mises en décharge, un recyclage de qualité est souhaitable. Une augmentation de la qualité des matériaux recyclés permettra également de faciliter leur pénétration sur le marché des matériaux de construction. Le recyclage nécessite une double approche, à savoir une utilisation de matériaux de construction incorporant des composants recyclés et une récupération beaucoup plus systématique des rebuts issus des démolitions d'immeubles [13]. Or recycler est une entreprise qui se prépare idéalement très en amont, par le choix des matériaux ainsi que la manière de les assembler.

- **Elimination** : Il y aura toujours une fraction ultime de déchets qui ne saura être réutilisée ou recyclée. Le déchet ultime est 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 [7].

4. RESPONSABILITE DE LA GESTION DES DECHETS

La gestion des déchets du bâtiment et des travaux publics est, quant à elle, de la responsabilité de ceux qui les produisent ou les détiennent, c'est à dire tous les intervenants de l'acte de construire (maître d'ouvrage, maître d'œuvre et entreprises industrielles) [14].

❖ Le maître d'ouvrage

Les maîtres d'ouvrages en particulier, ont la responsabilité de prévoir de donner aux entreprises et artisans de bâtiment et des travaux publics, les moyens financiers, mais également en terme d'organisation et de délai leur permettant de gérer les déchets de chantiers en respectant la législation relative à la protection de l'environnement [14]. Le maître d'ouvrage est détenteur des déchets. Il doit donc en supporter les frais d'élimination qui doivent être inclus dans les prix unitaires des entrepreneurs. En tant que détenteur des matériaux au cours de la construction, il va de son intérêt de faire valoir sa responsabilité vis-à-vis des déchets. Ainsi, les contrats peuvent exiger la prise en compte de la gestion des déchets de chantiers par le choix de matériaux recyclables ou valorisables pour la construction [15].

❖ Le maître d'oeuvre

Le rôle de la maîtrise d'œuvre est d'intégrer la gestion des déchets de chantier dans le projet de construction au même titre que les autres opérations, et notamment au niveau des contrats où sont spécifiées les prescriptions légales et les exigences spécialisées ou plus sévères. Ainsi, les architectes et les bureaux d'études techniques devraient connaître les déchets induits dans leur domaine d'activité, les possibilités de valorisation et les matériaux à mettre en œuvre spécifiés par le maître d'ouvrage [15].

❖ L'entrepreneur

L'entrepreneur est responsable des déchets générés lors de la mise en œuvre des matériaux qu'il utilise, ainsi que de leur évacuation et de leur élimination. Dans le cadre de son devoir de conseil vis-à-vis du maître d'ouvrage, il va de son intérêt de favoriser le choix de matériaux générant le moins possible de déchets. Ainsi, il a la possibilité de proposer des variantes dans les appels d'offres intégrant la gestion des déchets de chantier par l'utilisation de matériaux recyclés et les modes d'évacuation des déchets. L'entrepreneur, aussi bien entreprise générale que sous-traitant, doit suivre les directives de la maîtrise d'œuvre. Il est donc tenu de connaître les matériaux qu'il utilise et les déchets qu'ils induisent. Sur le chantier, il peut désigner un responsable interne à l'entreprise chargée de contrôler la gestion des déchets. L'entrepreneur de démolition doit se conformer au contrat qui le lie au maître d'ouvrage et à la loi pour éliminer et valoriser les déchets [12].

❖ Les collectivités territoriales

Les collectivités territoriales ont un intérêt évident à la bonne gestion des déchets de chantier :

- en tant que maître d'ouvrage, elles sont elles-mêmes producteurs de déchets de chantier, dont elles doivent assurer la gestion ;
- dans le cadre du pouvoir de police général, les maires doivent lutter contre les dépôts illégaux de matériaux et déchets [15].

5. IMPACT DES DÉCHETS DE CHANTIER SUR L'ENVIRONNEMENT

5.1 Problématique environnementale

Historiquement, les matériaux secs ont toujours été considérés comme peu polluants puisqu'ils regroupent essentiellement des résidus peu ou pas fermentescibles donc peu susceptibles de contaminer les eaux de surface ou souterraines ou de libérer des contaminants dans l'environnement placés longtemps dans des conditions d'humidité et d'acidité élevées, le bois, le gypse et les métaux libèrent des contaminants (oxyde de fer, sels métalliques, sulfatés de calcium, etc.), potentiellement nuisibles à la santé ou à l'environnement. La récupération des résidus de construction et de démolition permet, par ailleurs, d'éviter l'extraction de matières premières et de limiter son impact sur le paysage [16].

5.2 Bâtir dans le respect de l'environnement

Le secteur de la construction commence à se préoccuper de plus en plus de l'environnement. Les principales pistes concernent [17] :

- l'économie des ressources, avec la définition d'un bon usage du recyclage et du rôle utile du déchet ;
- la protection de la santé et la sécurité avec la prise en compte de la qualité de l'air (exemple : présence de solvants volatils dans certains produits de construction), et de la qualité de l'eau (contact des matériaux avec l'eau potable).

Préserver des ressources naturelles et réduire les impacts des chantiers sur l'environnement est un objectif qui revêt une importance particulière au regard des nuisances provoquées par l'ensemble des chantiers de bâtiment, en particulier en terme de déchets produit. Jusqu'à maintenant, les matériaux étaient essentiellement choisis en fonction de leurs performances techniques, des coûts liés à leur fabrication et à leur mise en œuvre, et de leurs qualités esthétiques. Désormais [3], il faudra également se préoccuper de leurs impacts environnementaux. Dans les pays développés, les entreprises du bâtiment soutiennent d'un affichage des caractéristiques environnementales des matériaux de construction. Cet affichage renseignera notamment sur l'énergie nécessaire à leur élaboration, sur leur durée de vie ainsi que sur les modes d'élimination qui leur sont applicables en fin de vie. Il doit en outre, informer précisément de la présence éventuelle de substances toxiques et de leur mode d'émission, ceci afin de préserver la santé des usagers mais aussi celle des ouvriers qui mettent en œuvre ces matériaux [6].

5.3 Cycle de vie des matériaux de construction

La prise en compte de considération environnementale dans la conception des matériaux et des ouvrages nécessite de repenser complètement la démarche de conception afin que ces aspects s'intègrent dans l'ensemble des autres paramètres de conception. Ce type de démarche est connu sous le nom «conception du cycle de vie intégré» et a pour objectif l'intégration dans la pratique courante, des multiples exigences de fonctionnalité et d'écologie, le tout dans des spécifications techniques et des détails de conception des matériaux et des structures [17].

Un des objectifs de la gestion des déchets est d'en diminuer la quantité produite. Il est donc nécessaire d'introduire la notion de cycle de vie et en particulier [18] :

- trouver des produits consommant moins de matières premières à performance égale et produisant donc moins de déchets en fin de vie ;
- trouver des produits consommant comme matières premières des matériaux issus du recyclage et ayant des performances comparables aux produits fabriqués avec des matériaux dits nobles.

La figure 1.1 illustre le cycle de vie d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art, depuis la construction jusqu'à la démolition, en passant par l'entretien et la réparation [3].

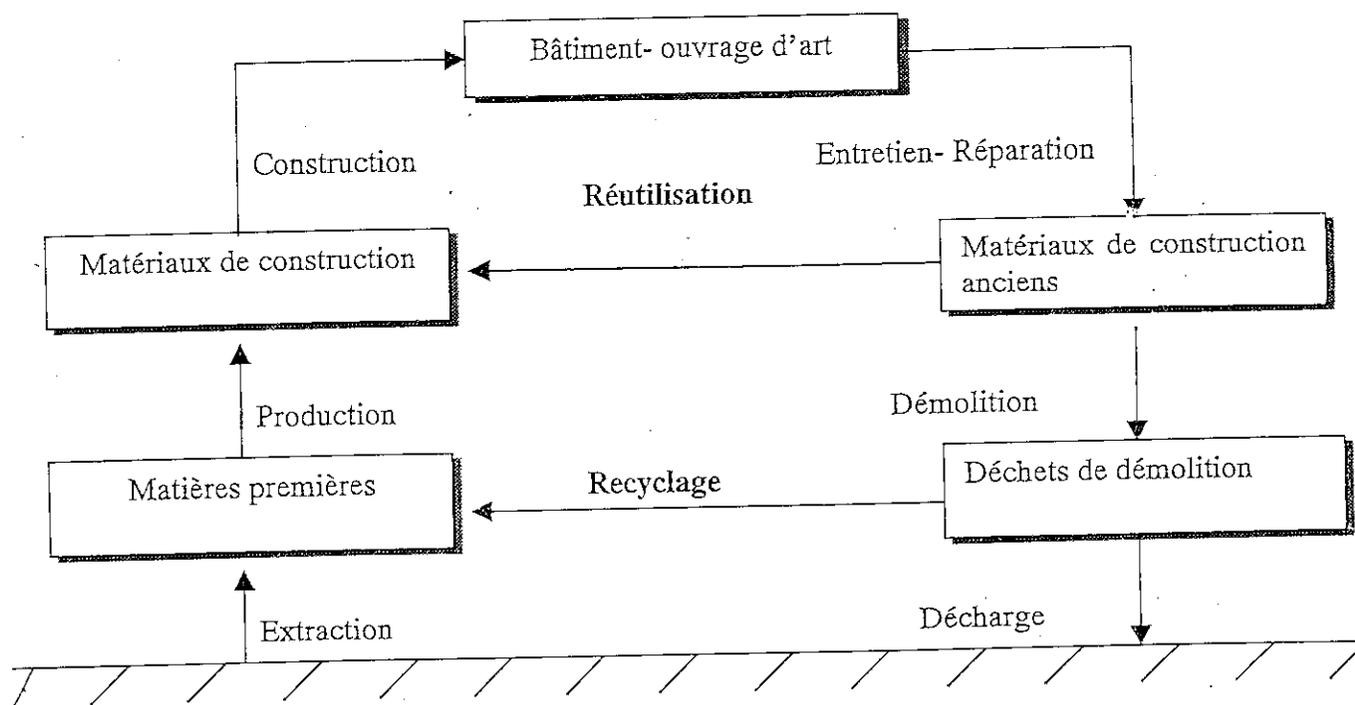


Figure 1.1 Modèle du cycle de vie d'un bâtiment ou d'un ouvrage d'art [3]

Le cycle de vie d'un bâtiment ou d'un ouvrage passe par plusieurs étapes. Commencant par l'extraction des matières premières qui ont pour but de produire des matériaux de construction convenables à la construction des bâtiments et des ouvrages. Les activités d'entretien et de réparation génèrent des déchets qui peuvent réutiliser dans le processus de fabrication des matériaux de construction. En fin de vie, le bâtiment ou l'ouvrage nécessite une démolition. Cette opération génère une quantité de déchets très considérable et qui nécessitant un recyclage adéquat afin de substituer les matières premières.

6. LA DECONSTRUCTION SELECTIVE

6.1 Définition de la déconstruction sélective

La déconstruction sélective consiste à séparer et trier les matériaux lors des travaux de démolition afin d'améliorer leur qualité et de favoriser leur valorisation. La déconstruction sélective constitue une alternative intéressante aux méthodes traditionnelles [18]. Elle consiste à démonter certains éléments de construction avant abattage du bâtiment et permet, outre la récupération des éléments de construction de valeur, d'éviter le mélange des différents matériaux.

6.2 Objectif de la déconstruction

Toute déconstruction sélective doit être organisée en fonction de la destination spécifique des déchets selon leurs matériaux constitutifs. Elle peut avoir comme objectif [19] :

- soit une déconstruction où la priorité est donnée à la préservation d'éléments ou d'unité constructive (pour des raisons d'intérêt historique dans la majorité des cas) qui seront employés ;
- soit une déconstruction destinée à obtenir un tri des différents matériaux afin de les valoriser.

Une première étude de la déconstruction sélective a été effectuée en Allemagne [20]. C'est un projet pilote de déconstruction sélective et de valorisation des éléments d'un bâtiment, il a été réalisé en Forêt -Noir. Il s'agit de l'hôtel de la poste à Dobel, dans le land Kreis de Calw. Le suivi scientifique de ce projet de recherche, réalisé pour le ministère de l'environnement du land de Bade-Wurtemberg, a été assuré par l'institut franco-allemand de recherche sur l'environnement (IFARE-DFIU). Une entreprise de démolition française, CARDEM démolition, a été chargée de l'exécution des travaux.

6.3 Faisabilité de la déconstruction sélective

Comparée à une démolition traditionnelle, la déconstruction sélective comporte un grand nombre d'opérations et nécessite une main-d'œuvre beaucoup plus importante ainsi qu'un délai d'exécution plus long. La planification des travaux est une étape essentielle qui permet de réduire la durée et le coût des travaux de démolition, de créer des conditions de travail satisfaisantes, d'augmenter la sécurité des personnes sur le chantier et d'améliorer la qualité et les quantités de matériaux destinés à être valorisés [18].

Pour étudier la faisabilité technique et économique de la déconstruction sélective, plusieurs chantiers pilotes ont été réalisés à travers le monde. Ces chantiers ont montré l'intérêt financier et environnemental de la déconstruction sélective [20]. Par exemple, le chantier pilote de Mulhouse a permis une réutilisation directe de 4% (par rapport à la masse totale du bâtiment) des éléments de construction. Ce pourcentage était seulement de 0.3% dans le cas de la démolition classique [19]. Dans le cas de l'hôtel de la poste, un taux de valorisation de 94 % a pu être atteint.

La plupart des matériaux ont pu être valorisés à 100 %. Dans le cas d'une démolition classique, le mélange inévitable des matériaux n'aurait pas permis d'approcher cette valeur. La plupart des chantiers pilotes réalisés ont montré que le surcoût lié au démontage des éléments de construction était largement compensé par les gains réalisés à la revente des matériaux réemployables et que l'analyse de la qualité des matériaux minéraux de la déconstruction sélective a mis en évidence une qualité élevée et un haut niveau de valorisation [19].

6.4 L'outil informatique

L'expérience et les données acquises sur plusieurs chantiers pilotes réalisés dans les pays développés [19, 20], ont montré la nécessité d'utilisation accrue d'outils de planification et de bases de données informatisées qu'ils peuvent sensiblement réduire la durée de la déconstruction. En particulier, on gagnera beaucoup de temps si l'on peut accéder directement à une banque de données fournissant les options de valorisation. Parmi les outils informatisés créés pour la déconstruction sélective, on peut citer deux outils, l'un est élaboré par la FNB et l'Ademe en France en 1995 et l'autre en Allemagne par l'IFARE / DFIU [21]. Pour bien montrer le principe de tel outil informatisé, on présentera sur la figure 1.2, le principe de l'outil informatisé réalisé par l'IFARE / DFIU en Allemagne.

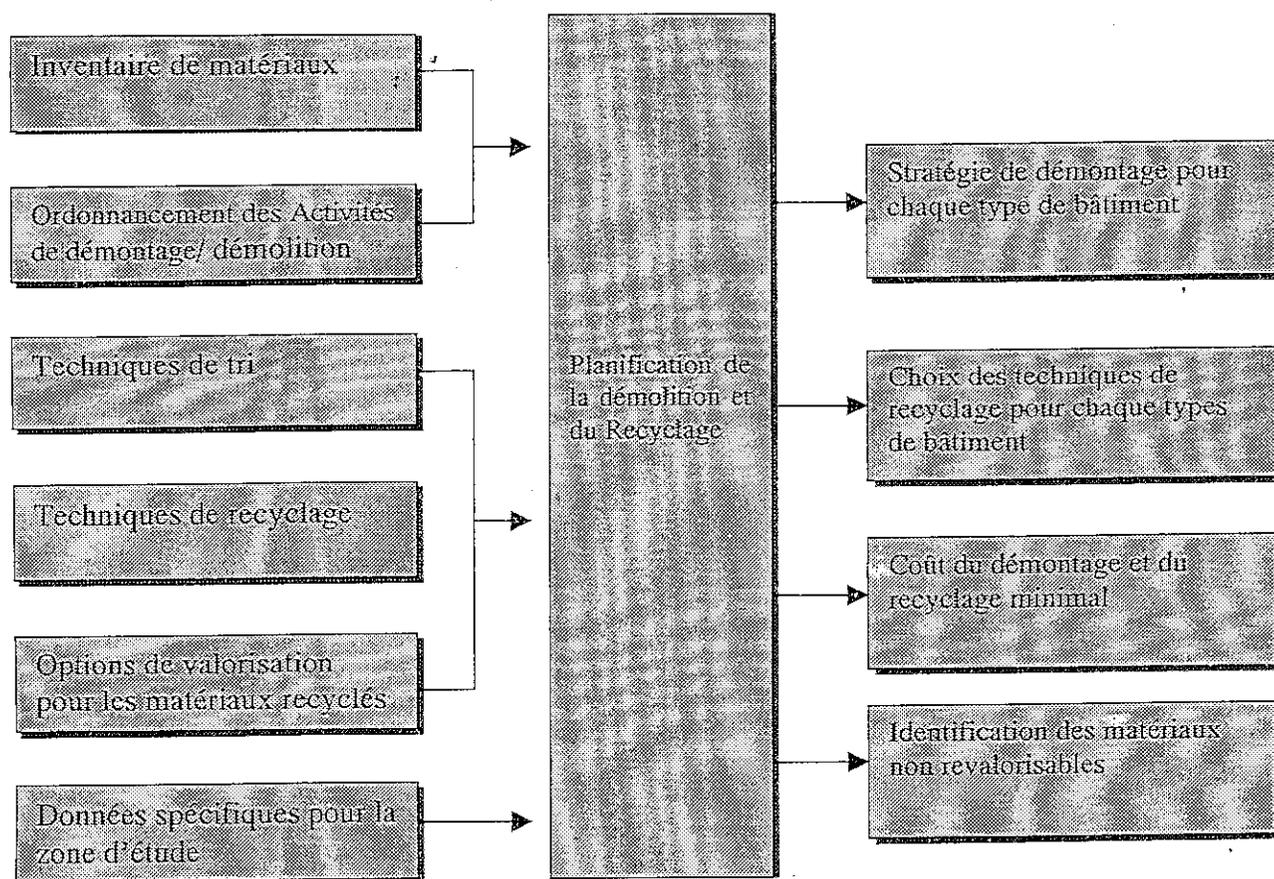


Figure 1.2 Principe du modèle informatisé du démontage et de recyclage des déchets [19]

L'IFARE / DFIU a développé un système informatisé qui déterminait l'enchaînement et le contenu des différentes phases de déconstruction, à partir des inventaires et des plans d'origine du bâtiment. Associé à des banques de données sur les matériaux de construction et les techniques de recyclage, il permet une saisie rapide des caractéristiques du bâtiment et le calcul des données nécessaires pour la planification de la déconstruction et de la gestion de déchets [1].

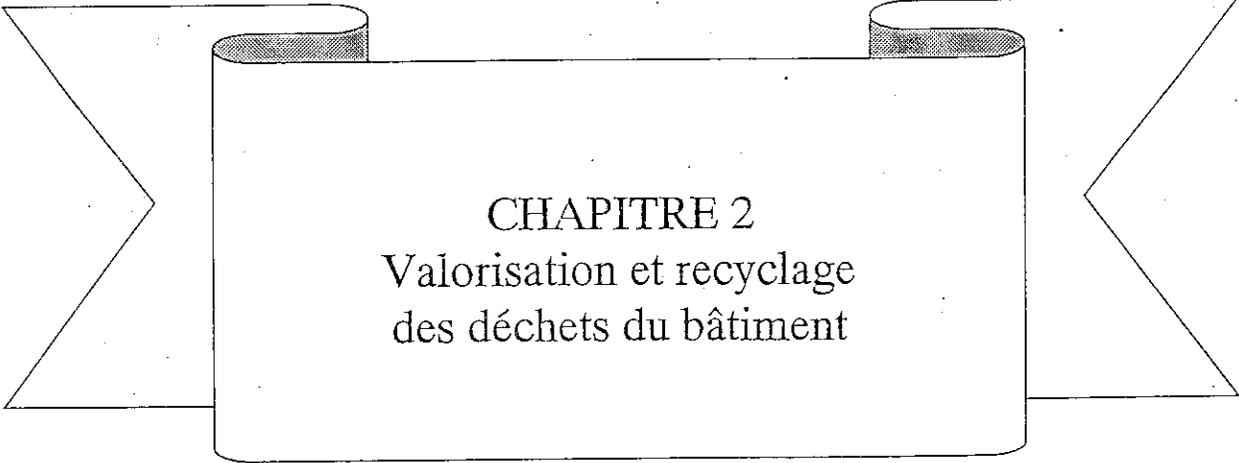
Dans ce système informatisé, les travaux de déconstruction ont été décomposés en activités élémentaires de démontage. Ces tâches sont définies de manière à ce que des fractions de matériaux homogènes puissent être obtenues pour la valorisation et afin que la qualité de tri requise par la réglementation locale puisse être atteinte. L'inventaire et la connaissance des volumes et types de matériaux permettent une bonne organisation du stockage des matériaux sur le chantier et facilitent la recherche de filières de valorisation [13].

7. CONCLUSION

La croissance urbaine a engendré elle-même d'énormes "Stocks" de bâtiments et ouvrages, donc de matériaux recyclables, en partie substituables aux matériaux primaires ou vierges. A l'avenir, la gestion efficace de ce stock peut devenir cruciale en termes de ressources ainsi qu'en termes d'impacts sur l'environnement et donc de développement durable [22].

Recycler les déchets de chantier nécessite de mettre en place une véritable politique de gestion de ces déchets. L'optimisation de la gestion des déchets de chantier est fonction de l'implication du maître d'ouvrage qui doit lors de la programmation faire des prescriptions spécifiques concernant la gestion des déchets de chantier et doit afficher sa volonté d'obtenir un résultat respectueux de l'environnement. La maîtrise d'ouvrage doit également prévoir le suivi de ses prescriptions afin qu'elles soient effectivement mises en œuvre. Pour bien maîtriser la gestion des déchets de chantier, quelques pistes peuvent néanmoins être évoquées [6] :

- Les traitements «amont » visent à mieux préparer et trier les déchets pour les rendre plus facilement valorisables, par concassage notamment. Les difficultés viennent du fait que les matériaux émanant des gravats de démolition, et du bâtiment présentent une assez grande hétérogénéité avec une obligation de tri qui obère leur rentabilité. Ils peuvent également incorporer des composants qui les rendent impropres à leur utilisation (matériaux d'amiantes, plomb...). Une amélioration du tri sur les chantiers sera visée par une campagne d'information du secteur de la construction et d'une adaptation des permis de bâtir.
- Les initiatives visent à généraliser la déconstruction sélective, afin d'obtenir un matériau facilement valorisable. Ces développements ne peuvent qu'être progressifs, car ils génèrent de fortes perturbations dans la structure même du secteur.
- Une déconstruction sélective (en triant les différents matériaux) entraîne inévitablement une plus grande technicité, parce qu'il ne s'agit plus de récupérer pour transporter en décharge, mais de sélectionner des matériaux susceptibles d'être réutilisés. Il n'est pas exclu que l'on assiste à une restructuration et à l'émergence d'un nouveau secteur, chargé spécialement des démolitions.



CHAPITRE 2
Valorisation et recyclage
des déchets du bâtiment

DEUXIEME CHAPITRE

VALORISATION ET RECYCLAGE DES DECHETS DE BATIMENT

1. INTRODUCTION

Comme les activités industrielles, le bâtiment consomme des ressources naturelles et génère des quantités non négligeables de déchets. Les déchets résultants de l'activité «bâtiment» se répartissent entre la construction neuve, la réhabilitation, la maintenance, l'entretien, la démolition et la fabrication d'élément de construction. On rencontre plusieurs catégories de déchets sur un chantier [2] :

- des déchets inertes (pierre naturelle, terre et matériaux de terrassement, plâtre, céramique, verre ordinaire, ...) ;
- des déchets dangereux ou industriels spéciaux (peinture, bois traités avec des oxydes de métaux lourds, amiante, produits chimiques, emballages souillés).

Les déchets de chantier du bâtiment sont très hétérogènes en qualité (mélange de matériaux, granulométrie très variée) et en quantité suivant les régions et les types de chantier [23]. La complexité de leur nature rend l'élimination des déchets du bâtiment de plus en plus difficile.

Dans ce deuxième chapitre, on définira les types de déchets de chantier du bâtiment, ainsi que les installations de concassage et de recyclage. On passera ensuite à l'utilisation des granulats recyclés dans les pays les plus avancés en matière de préoccupation environnementale. A la fin, on tentera de donner quelques expériences étrangères concernant les déchets valorisables du bâtiment en tant que granulats.

2. NATURE DES DECHETS DE BATIMENT

Les déchets de chantier du bâtiment sont très différents selon les types de chantier :

- La construction neuve et la réhabilitation, qui génèrent des déchets le plus souvent «propres » parmi lesquels, on trouve beaucoup de déchets d'emballages.
- Les déchets de démolition et de réhabilitation lourde, le volume et le poids sont très nettement supérieurs à ceux des autres déchets de chantier, ils sont constitués de matériaux de résidus de produits ou composants fabriqués de nombreuses années auparavant et dont les caractéristiques sont très variables d'un chantier à un autre [14].

Bien que d'autres déchets de bâtiment sont générés lors de la production d'éléments de construction.

2.1 Déchets de réhabilitation

Les opérations de réhabilitation diffèrent des constructions neuves tant sur le plan des méthodes de travail que sur celui de l'organisation de chantier. En site occupé, les opérations de réhabilitation intègrent, de plus, des contraintes fortes liées à la présence des habitations, d'où une nécessaire prise en compte d'aspects sociologiques et de communication [11].

Des solutions plus spécifiques sont expérimentées en réhabilitation, notamment en ce qui concerne la logistique associée au pré-tri [14]. Une aire de stockage des déchets peut être installée au bas des cages d'escalier et déplacée au fur et à mesure des travaux. Les déchets sont alors évacués des étages vers les bennes au moyen de goulottes et de treuils ou stockés après « descente manuelle ». Des ateliers de travail peuvent être aménagés sur le chantier pour préparer certains déchets déposés. Les éléments composites sont séparés par flux : verre, bois, éléments métalliques, etc. Les nuisances vis-à-vis des habitants, tant psychologiques que physiques, associées à un manque d'information, peuvent provoquer des situations de blocage pendant le chantier. La maîtrise de ces nuisances et une action de communication à l'intention des occupants aident ceux-ci à mieux vivre les travaux de réhabilitation en les impliquant, ce qui participe au succès final de l'opération [10].

2.2 Déchets de construction neuve

Dans un chantier de construction neuve, on peut classer les déchets en trois catégories selon le danger qu'ils peuvent présenter [12] :

- inertes : béton, briques, ... mélange de matériaux pierreux ;
- dangereux : des déchets industriels spéciaux, tels que les emballages de silicone, peinture, les déchets industriels banals et autres produits chimiques ;
- ni inertes, ni dangereux : plastiques, carton, etc.

Selon l'espace disponible et la taille des chantiers, le tri des déchets de la construction neuve est plus ou moins facile. De plus, certains déchets sont produits en quantité trop faible pour rentabiliser leur tri et leur transport. Le cas de la construction neuve se différencie de celui de la démolition par plusieurs éléments :

- On peut réduire à la source la quantité et la nocivité des déchets produits lors des phases de mise en œuvre par le choix des techniques constructives retenues et par soin apporté au stockage et à la manipulation des matériaux entrants (limitation de la classe) et à leur mise en œuvre (limitation des chutes) ;
- Par nature, la décomposition en phases de différentes tâches et de l'intervention des différents corps d'Etat fait que les déchets produits n'ont pas la vocation irrémédiable d'être mélangés. Ce « non-mélange » doit être encouragé, d'une part pour faciliter l'élimination des déchets dans les centres de stockage, d'autre part pour ne pas amoindrir la qualité de ces déchets à la sortie du chantier qui détermine leur faculté à être recyclés [14].

2.3 Déchets de démolition

Une grande partie des déchets du bâtiment est composée de matériaux provenant de la démolition. La démolition va perturber l'environnement : bruit, poussière, et, surtout, énormes quantités de matériaux lourds et de grand format, se prêtant mal à la manipulation et qu'il faudra éliminer. Les matériaux d'une démolition conventionnelle sont mélangés et contiennent généralement des substances dont la séparation au niveau de l'installation de recyclage s'avère difficile - voire impossible (plâtre, bois traités, etc.) limitant de ce fait la qualité et les possibilités d'utilisation des matériaux recyclés [20]. A savoir que la démolition conventionnelle s'effectue par [19] :

- ❖ Expansion (éclateurs hydrauliques, vérins hydrauliques et gels ou mortier expansifs).
- ❖ Explosion (explosifs à charge détonnante, explosifs à charge découpante).

Or, il est plus facile de valoriser un déchet non mélangé, c'est-à-dire non souillé par d'autres déchets qu'un mélange hétérogène. C'est pourquoi le tri à la source, lors de la démolition, est le plus intéressant. Il faut parler alors de déconstruction. Le non-mélange est indiscutablement la meilleure méthode. Bien sûr, cela implique une nouvelle conception du déroulement de la démolition ainsi que le choix de nouvelles solutions pour le chargement, le transport et l'entreposage des catégories non mélangées de déchet. Il s'agit avant tout d'un problème d'organisation, d'éducation du personnel, de suivi du chantier et, bien entendu de prix de revient [20].

2.4 Déchets de la production d'éléments de construction

Construire, rénover, entretenir et exploiter des bâtiments exige de très grandes quantités de matériaux qui sont extraits de la nature, transformés et finalement utilisés [14]. La fabrication des produits et composants de construction génère des rebuts non négligeables. Ces rebuts sont relatifs aux usines de fabrication et à la maîtrise de processus de la fabrication. Ils sont généralement des résidus inertes et qu'ils ne nécessitent pas un tri préalable. Les techniques de recyclage des rebuts de production d'éléments de construction peuvent s'appliquer aux déchets de chantier [13].

3. ELABORATION ET UTILISATION DES GRANULATS RECYCLES

Le recyclage se fait grâce à des installations de concassage qui traitent généralement les déchets suivants [2] :

- ❖ déchets de béton ;
- ❖ déchets de maçonnerie ;
- ❖ déchets d'asphalte.

Toutefois, toutes ces installations peuvent entrer dans deux catégories principales :

- ❖ les installations fixes,
- ❖ les installations mobiles.

Chacune de ces dernières peut être subdivisée en deux :

- ❖ les installations primaires (un seul niveau de concassage),
- ❖ les installations secondaires (au moins deux niveaux de concassage).

3.1 Types des installations de concassage-recyclage

Le matériel peut varier suivant que l'installation est en site fixe ou mobile. Il est également plus ou moins complexe suivant le type de production souhaitée. Le choix du type d'installation influence directement la qualité du granulat produit et donc sa gamme d'utilisation potentielle [24].

3.1.1 Installation mobile

Elle est la plus intéressante pour les grands chantiers. Elle permet de réduire considérablement les frais de transport des débris de démolition vers le concasseur, d'une part, et des granulats concassés vers leur destination finale, d'autre part. Par contre, elle impose une réutilisation rapide des matériaux, qui ne doivent pas rester stockés sur place au-delà de la durée du chantier. En outre, il se présente parfois des problèmes environnementaux dus aux nuisances (bruit, poussières et vibrations) [2]. L'espace disponible du chantier étant habituellement réduit, on se limite, dans la majorité des cas, à l'emploi d'un concasseur unique souvent à mâchoires. La qualité du granulat produit est assez faible, vu l'absence d'équipement de tri et de lavage ; elle est donc directement liée au type de débris traités. On n'y produit en général qu'un seul calibre de granulats [25].

3.1.2 Installation fixe

Dans une installation fixe, par contre, un certain nombre de cribles permettent d'obtenir des calibres dans une fourchette plus étroite et de meilleure qualité (notamment au niveau des impuretés) [25]. L'installation traite principalement les débris de béton, de maçonnerie et d'asphaltes. On peut les stocker suivant leur nature et ensuite les traiter individuellement en optimisant l'installation en fonction du type de matériaux à recycler et de la demande du client. En général, les installations fixes sont les plus élaborées et produisent des granulats dont la granulométrie est bien déterminée [2].

3.2 Description des équipements d'une installation de concassage-recyclage

L'installation de concassage-recyclage doit être au moins constituée des éléments suivants [26] :

- une installation de pesage, constituée d'un pont balance pour peser les déchets à l'entrée et les granulats à la sortie ;
- un pré-criblage ;
- une installation de concassage ;
- une installation de criblage.

Et suivant le type de débris acceptés [2] :

- un séparateur magnétique pour les débris contenant de l'acier ;
- les dispositifs nécessaires pour la séparation des débris mélangés à d'autres matériaux.

3.3 Différents types de concasseurs

Les installations de concassage sont équipées des systèmes de criblage. Des cribles inclinés vibrants à basses fréquences sont utilisés pour mieux séparer les gros granulats, par contre, les matériaux fins sont séparés plus efficacement sur des cribles horizontaux vibrants à hautes fréquences [26]. Pour fragmenter les déchets, différents types de concasseurs peuvent être envisagés.

- **Concasseur à mâchoires**

Avec ce type de concasseur, le matériau est cassé par pression entre deux mâchoires, une fixe et l'autre en mouvement. Il existe deux types de concasseurs à mâchoires : à simple et à double effet suivant que la mâchoire mobile bouge seulement suivant un mouvement horizontal ou qu'elle effectue également un mouvement de bas en haut [27]. Dans les deux types de concasseurs, une vis de réglage permet de régler l'ouverture d'échappement et donc la dimension du produit fini. Ce concasseur a la propriété essentielle de produire moins de particules fines.

- **Concasseurs à marteaux**

Avec ce type de concasseur, les matériaux sont fragmentés par percussion sur des marteaux articulés sur un ou deux rotors tournant à grande vitesse. La forme des marteaux a une influence sur la dimension et la forme des granulats obtenus. La consommation énergétique et la vitesse d'usure de l'équipement sont plus rapides que pour le concasseur à mâchoire. Par contre, la séparation de l'acier du béton est meilleure [27].

- **Concasseur à percussion**

Un rotor, équipé d'un certain nombre de barres d'impact, projette les matériaux à grande vitesse contre les parois de la chambre de broyage, garnie latéralement de plaque d'usure et deux enclumes en acier à haute résistance. Les agrégats sont produits par choc et éclatement. Ils sont de ce fait très durs et de faible calibre avec une importante quantité de fines [27].

- **Concasseur giratoire**

Il opère le concasseur par écrasement du matériau entre une enceinte circulaire et un cône giratoire dont le mouvement à l'intérieur de la chambre de broyage est commandé par un arbre excentrique, ce qui rapproche le cône successivement de chacun des points de l'enceinte. Au cours de ce mouvement, les blocs à concasser se trouvent fragmentés par la pression développée et les morceaux réduits sont évacués par le dessous de la machine. Ce type de concasseur produit généralement des agrégats de forme cubique et une quantité moyenne de fines [27].

- **Concasseur à cône**

Ce concasseur fonctionne selon le même principe que le concasseur giratoire. Ici, un cône tronqué se meut autour d'un axe excentrique dans un manteau qui a la forme d'un cône tronqué inversé, de telle sorte que l'espace entre les deux cônes change continuellement. Par le rétrécissement de l'espace, le matériau est broyé par pression ; lorsque l'espace s'agrandit à nouveau, les petits morceaux tombent par la fente [27].

3.4 Techniques de séparation des contaminants

- Alimentateur grizzly (scalpage)

On peut déjà, au départ, éliminer la fraction stérile du matériau (des matières terreuses et des fins contaminants) en alimentant le concasseur primaire à partir d'un «grizzly» (un scalpeur) : crible transporteur vibrant [27].

- Séparateur magnétique

Un très puissant aimant permanent enjambe la courroie transporteuse. Il est équipé d'une courroie à lattes contre lesquelles se plaquent les métaux ferreux qui sont ainsi écartés de la voie du convoyeur pour tomber à côté de l'installation lorsqu'ils quittent le champ magnétique de l'aimant [26].

- Séparation manuelle

Elle a l'avantage majeur de pouvoir éliminer les éléments indésirables qui ne sont pas facilement séparables par d'autres moyens. Il s'agit notamment du verre, des petits morceaux d'isolants plats, des fils électriques gainés, etc. Par contre, elle nécessite du personnel en permanence et le rythme de production doit être adapté à la vitesse de travail des employés du tri [27]

- Séparation par aspiration

Tous les matériaux légers (tels que bois, textile, plastique de faible densité, etc.) sont aspirés dans un système placé à l'extrémité du premier crible, tandis que les matériaux pierreux, plus lourds, passent en travers. Ce séparateur permet d'enlever les éléments indésirables légers [26].

- Séparation par gravité

La méthode est basée sur la différence de masse volumique des différents composants. En général, la séparation s'opère en étages. Dans chaque étage on trouve un crible sur lequel glissent les matériaux ; une puissante ventilation met les plus légers en suspension pendant leur progression puis une lame d'air les propulse au-delà de la trémie dans laquelle tombent les plus lourds [27].

- Séparation par décantation

Les granulats traversent une cuve remplie d'eau. Les matériaux légers flottent tandis que les matériaux pierreux, plus lourds, tombent au fond. Les éléments indésirables flottants sont raclés en surface tandis que les agrégats propres continuent le circuit. Ce procédé a l'avantage d'éliminer la grande majorité des éléments indésirables et de fournir un granulats très propre. Par contre, il produit une grande quantité de boue qui doit être traitée [27].

- Séparation par lavage

Il s'agit d'une courroie transporteuse sur laquelle est maintenu un niveau d'eau constant grâce à une série de buses projetant l'eau dans le sens opposé à son avancement. Les éléments légers flottent et sont éjectés par le débit d'eau tandis que les matériaux plus lourds continuent le circuit. Ce procédé présente les mêmes avantages et inconvénients que le système de séparation par décantation [27].

3.5 Fonctionnement d'une installation de concassage-recyclage

Avant concassage, il est parfois nécessaire de réduire les plus gros éléments et de cisailier les ferrailles. Cette opération permet d'effectuer un nouveau contrôle des matériaux qui vont alimenter l'installation [28]. Les débris sont fragmentés à dimensions compatibles avec l'ouverture du concasseur primaire par une cisaille hydraulique ou par un « broyeur à béton » montée sur la flèche d'une excavatrice hydraulique. Ce dernier permet en même temps de diminuer la dimension des blocs de béton et d'enlever les armatures principales qui augmentent la vitesse d'usure des pièces du concasseur et diminuent son rendement [25]. Les débris sont ensuite déversés dans le concasseur primaire, parfois au moyen d'un tambour rotatif monté sur une pelle hydraulique ou une chargeuse. Dans ce cas, après fermeture de l'opercule, les matériaux fins sont séparés par rotation et tombent à travers une grille de criblage. Les matériaux de plus gros calibre restent dans le tambour et sont déversés dans le concasseur. Le concasseur primaire, généralement à mâchoire, possède quelquefois à son entrée un crible de pré-triage sur lequel on réalise une première séparation du matériau fin (scaplage) qui, soit poursuit le circuit sans passer par le concasseur primaire (sable de criblage), soit, s'il est trop pollué, est éliminé. Ce pré-criblage permet à la fois de limiter la quantité de matériau entrant dans le concasseur et d'éviter que trop de matières « polluantes » ne soient traitées dans les installations de lavage. Le matériau concassé est amené par une bande transporteuse vers un crible, après un passage sous un déferriseur (séparateur magnétique) qui élimine les métaux ferreux. Ceux-ci contiennent encore un peu de débris de béton ainsi que du papier, du plastique, etc., coincés dans les armatures et qu'il est difficile de séparer, ce qui limite quelque peu l'intérêt d'une entreprise de récupération pour cet acier. Les métaux non ferreux, le caoutchouc, les isolants d'une certaine dimension, ... sont généralement enlevés manuellement le long de la bande transporteuse. Le crible sépare le matériau fin (sable de concassage), qui représente en moyenne 25% de la quantité totale de matériau produit par une installation. Le gros matériau est amené vers un second crible, où les plus gros éléments sont séparés et envoyés vers un concasseur secondaire par le biais d'un système de nettoyage (à l'eau ou à l'air). La très grande majorité des matériaux arrivant à ce concasseur est composée de béton, la brique, par exemple, ayant déjà été broyée dans un calibre plus petit lors du passage dans le concasseur primaire. Ces granulats concassés sont enfin criblés en différents calibres suivant les utilisations potentielles. La figure 2.1 montre les différentes étapes de concassage des déchets de chantier d'une installation belge de recyclage [25].

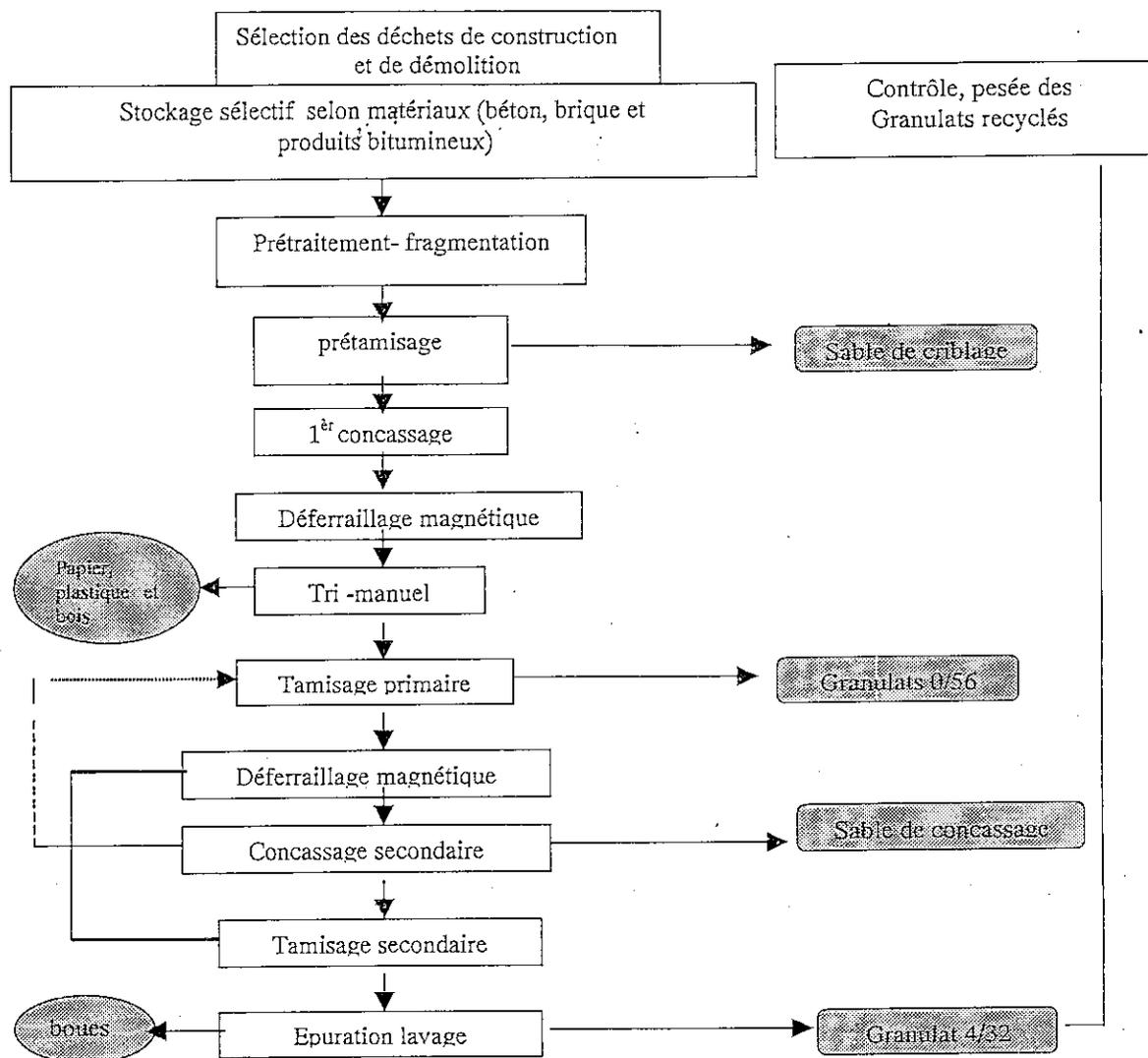


Figure 2.1 Installation de concassage-recyclage [25]

La figure 2.1 présente les modes d'évacuation des déchets de chantier ainsi que les techniques utilisées dans une installation de concassage-recyclage pour obtenir différents calibres de granulats.

3.6 Les granulats recyclés produits

Dans une installation de concassage-recyclage, on distingue habituellement cinq catégories de matériaux en fonction de leur nature à savoir [2] :

- ❖ les bétons armés ou non sans enduit ni plâtre,
- ❖ les matériaux composites, mais propres, constitués de graves routières, de pierres, de blocs rocheux, d'enrobés, de bordures, de briques, etc. ;
- ❖ les mélanges de matériaux (ossatures en béton, maçonneries...) avec de faibles teneurs en plâtre, bois, plastique, etc.;
- ❖ les mélanges hétérogènes avec des teneurs en matières indésirables (plâtre, bois, plastique...) ;
- ❖ les autres matériaux n'entrant pas dans les catégories précédentes.

Suivant la nature des débris concassés, on distingue respectivement [25] :

- ❖ les sables de criblage de débris ;
- ❖ les sables de concassage de débris ;
- ❖ les concassés de débris de béton ;
- ❖ les concassés de débris de maçonnerie ;
- ❖ les concassés de débris de béton et de maçonnerie (concassés mixtes) ;
- ❖ les concassés de débris d'enrobés hydrocarbonés.

4. UTILISATION DES GRANULATS RECYCLES DANS LE MONDE

4.1 Réglementation concernant les granulats recyclés dans le monde

Certains pays, particulièrement soucieux de l'environnement (soit par manque de ressources naturelles, soit par manque d'espace, ...) se sont tournés vers le recyclage des granulats. L'obstacle principal à l'utilisation de granulats recyclés est l'absence de normes ou de recommandations spécifiques [25].

Les politiques menées au sein de l'union européenne intègrent un certain nombre d'initiatives liées au problème de déchets de construction et de démolition. Ainsi, en 1992, la commission européenne lançait le Priority Waste Stream Programme, qui définissait six flux de déchets, dont les débris de construction et de démolition, nécessitant des actions prioritaires [25]. Une première initiative est due au groupe de travail TC-121 DRG de la RILEM (Réunion internationale des laboratoires d'essais et de recherches sur les matériaux et les constructions), qui a élaboré une recommandation intitulée « Specifications for Concrete with Recycled Aggregates [29] ». Lors, de cette réunion qui s'est déroulée au Danemark (Odense), en 1993, la RILEM a recommandé de classer les gros granulats recyclés en trois types dont chacun serait sujet de limites spécifiques en impuretés, en plus celles imposées par les normes européennes accordées comme le montre le tableau 2.1 [29].

Types d'agrégats	Composition
Type I	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de maçonnerie
Type II	Agrégats recyclés dérivés essentiellement de bétons
Type III	Un mélange d'au moins 80% d'agrégats naturels, pas plus de 10% d'agrégats recyclés de type I (jusqu'à 20% d'agrégats recyclés de type II)

Tableau 2.1 Classification des gros granulats recyclés par la RILEM [29]

Certaines limites sont imposées. Ces dernières sont résumées au tableau 2.2.

Exigences mandataires	Type I	Type II	Type III
Densité sèche minimum (Kg/m ³)	1800	2200	2400
Absorption d'eau maximum (%)	15	5	3
Teneur maximale de matériaux à densité sèche <2200 Kg/m ³	-	10	10
Teneur maximale de matériaux à densité sèche < 1000 Kg/m ³	10	1	1
Teneur maximale de matériaux à densité sèche <1200 Kg/m ³	2	0.5	0.5
Teneur maximale en matériaux non minéraux (%)	1	1	1
Teneur maximale en matériaux organiques	0.5	0.5	0.5
Teneur maximale en éléments fins (< 0.80 mm) (%)	3	3	2
Teneur maximale en sable (<1 mm) (%)	3	3	3
Teneur maximale en chlorure (%)	0.06	0.06	0.06
Teneur maximale en sulfate (%)	1	1	1
Teneur maximale en matières étrangères (%)	5	1	1

Tableau 2.2 Les différentes limites proposées par la RILEM [29]

D'après la RILEM, les gros granulats recyclés peuvent être classés en trois catégories, la première catégorie concerne essentiellement les déchets de maçonnerie, la seconde les déchets de béton et la troisième est un concassé mixte. Des spécifications ont été élaborées pour chaque type d'agrégats recyclés où ces agrégats doivent répondre aux différentes exigences (densité sèche, absorption d'eau, etc.). Quelques exigences sont identiques pour les trois types d'agrégats recyclés comme la teneur maximale en matériaux non minéraux est fixée à 1%.

L'utilisation de granulats recyclés en techniques routières fait l'objet, dans certains pays, de spécifications particulières d'emploi. C'est le cas notamment en Allemagne, en Grande-Bretagne, en Belgique et aux Pays-Bas. Dans d'autres pays, il existe des guides pratiques (comme en France) [2] ou des cahiers des charges spéciaux rédigés dans le cadre d'un chantier ponctuel (par exemple en Espagne, pour l'aménagement du site Olympique de Barcelone) [25]. En Belgique, le département de l'Environnement et de l'Infrastructure de la Région flamande a autorisé l'emploi, dans certaines applications, de matériaux recyclés tels les concassés issus des chantiers de construction et de démolition. Par ailleurs, la Région bruxelloise et la Région wallonne ont introduit des spécifications techniques applicables à l'emploi de granulats secondaires en construction routière. Pour l'utilisation du granulats recyclés dans le béton, il existe peu de spécifications particulières, sauf aux Pays-Bas et au Danemark.

A noter également l'existence d'une norme allemande, éditée en 1951 [30], concernant la réutilisation de briques concassées dans la confection du béton. D'autres pays du monde ont abouti à des normes et des guides spécifiques aux granulats recyclés. Les Etats-Unis s'appuie sur l'ASTM C33- 82 paragraphe 8.2 de 1982 [30], le Japon sur les normes SURA et RAC de 1985 [30] et la Russie sur « Recommandations on the Recycling of Sub-Standard Concrete and Reinforced Product » de 1984 [30].

4.2 Production des déchets de chantier et utilisation des granulats recyclés dans le monde

4.2.1 L'Europe

Au début des années 80, les déchets de démolition et de construction aboutissaient généralement dans des décharges. Ce n'est qu'au cours de la décennie 90, que le recyclage est devenu un autre moyen d'évacuation des déchets. D'après les estimations qui ont été faites en 1991, l'Europe produit, chaque année [3], 200 millions de tonnes de déchets de démolition et de construction pour 350 millions d'habitants, soit une production de déchets par habitant de 500 Kg par an ce qui doit être comparé aux 200 à 500 Kg d'ordures ménagères par habitant et par an. Le tableau 2.3 donne l'utilisation des déchets de construction et de démolition dans certains pays d'Europe [31].

Pays	Pourcentage en poids des déchets totaux de démolition et de construction					
	1990			2000		
	Décharge	Recyclage	Incinération	Décharge	Recyclage	Incinération
Pays-Bas	39	60	1	10	89	1
Belgique	60	38	2	10	88	2
Allemagne	82	16	2	19	80	1
Grande-Bretagne	55	42	3	49	50	1
Danemark	70	23	7	45	50	5
France	88	12	0	60	40	0
Espagne	70	30	0	70	30	0
Italie	95	5	0	75	25	0
Irlande	100	0	0	80	20	0
Moyenne	72	26	2	38	61	1

Tableau.2.3 Destination des déchets de construction et démolition dans les pays d'Europe (Période 1990-2000) [31]

On constate que de tous les pays de l'union européenne, ce sont les Pays-Bas qui recyclent le plus de déchets de construction et de démolition avec 89 % de recyclage. Mais d'une manière générale la tendance est à l'accroissement du recyclage qui passe en moyenne de 26 % en 1990 à 61 % en 2000. Ceci est dû à plusieurs raisons [31] :

- 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.

Les conditions économiques du recyclage ne sont pas les même dans tous les pays. Elles sont moins favorables dans les régions où les matériaux naturels sont abondants et les aires de décharge facilement accessibles comme, en Irlande et dans quelques pays du Sud de l'Europe. Mais ce n'est pas du tout le cas d'autres pays comme les Pays-Bas, importateurs de granulats naturels, caractérisés par une forte densité de population, connaissant une pénurie d'espace et une très grande vulnérabilité à la pollution en raison d'une situation géologique et hydrologique particulière. Si, de plus, il existe une intense activité dans le secteur de la construction (et donc de la démolition), les zones de décharge se font de plus en plus rares, se remplissent rapidement, entraînant des coûts de mise en décharge sans cesse croissants [3].

Dans l'Union européenne, il y a deux grands domaines d'utilisation des granulats recyclés : la construction routière et la confection de béton à base de liant hydraulique (hors secteur routier). Le secteur routier nécessite souvent des tonnages importants de matériaux. Il s'agit actuellement de la destination de la quasi-totalité des granulats recyclés. C'est également dans ce secteur que les prescriptions sont les plus développées. Le granulat recyclé peut être utilisé, par ordre croissant de performances, en remblais, sous-fondations, fondations en empierrement, bétons maigres et revêtements de chaussées. Il peut également servir pour les zones d'immobilisation, terre-pleins et accotements en empierrement [3]. On utilise, en général, le concassé mixte pour les empierresments non liés et le concassé de débris de béton pour les empierresments stabilisés au ciment.

L'utilisation des granulats recyclés dans les bétons n'est pas très courante, elle est freinée par des normes et des réglementations. Mais cette voie de valorisation est appelée à se développer et de nombreuses recherches en laboratoire ont prouvé qu'une proportion non négligeable de ces matériaux est tout à fait apte à être utilisée comme granulat dans certains bétons (béton de masse, béton de propreté, blocs de construction, ...) [31].

Cette réutilisation dans le béton pose des exigences sévères de qualité, essentiellement au niveau de la propreté et de la granulométrie selon l'application et les conditions d'exposition rencontrées, pour obtenir un produit final dont les spécifications et les performances soient bien maîtrisées [24]. Le CSTC, comme d'autres organismes de recherche, a effectué des études qui ont montré qu'à résistance mécanique équivalente, un béton de granulats recyclés a, en général, un module d'élasticité plus faible et un retrait ainsi qu'un fluage plus important. Ceci est dû à la forme irrégulière, à la texture plus grossière, à la plus faible densité et surtout, à la plus grande porosité de ces granulats, qui entraîne une consommation accrue d'eau de gâchage pour obtenir une même ouvrabilité du béton frais [32].

4.2.2 Les Etats Unis

A partir de 1975, les premières tentatives de recyclage ont débuté aux Etats-Unis et plus précisément dans le domaine routier [4]. Au cours des années 1990, de grands défis ont surgi quant à la façon d'éliminer les déchets de construction et de démolition. Aux Etats-Unis, 31,5 millions de tonnes de déchets de construction sont produites chaque année, ce qui présente près du quart des déchets municipaux solides [33].

Plusieurs entreprises ont été créées pour gérer les déchets de construction. L'entreprise Raisch products, de San Jose, en Californie, a proposé une nouvelle approche du recyclage des débris de construction et de démolition avec la mise sur pied d'un parc écologique abritant une diversité de recycleurs de déchets de construction et de démolition et servant de poste de transformation et de réutilisation des matériaux de construction et démolition qui proviennent des comtés, des municipalités et des propriétaires. Un arrivage d'un lot de débris de construction et de démolition serait envoyé au recycleur approprié dans le parc [33]. C'est l'entreprise Reaico Recycling INC de Jack Sonville, en Floride qui dispose une usine de recyclage mixte où les matériaux de construction et de démolition sont triés et traités. La séparation des métaux ferreux se fait à l'aide d'un convoyeur magnétique, les travailleurs récupèrent à la main les métaux non ferreux et les plastiques. Le bois est déchiqueté et vendu à des papeteries locales comme combustibles, alors que le béton est concassé, criblé et vendu comme couche de fondation pour la chaussée. Des particules fines séparées (composées principalement de poussière) sont vendues comme remblai [33].

4.2.3 Le Japon

Le Japon est le pays qui utilise le plus d'agrégats recyclés après les pays Bas, l'Allemagne et la Belgique. Un rapport spécifique aux granulats recyclés a été publié [30], c'est le « Proposed Standard for the Use of Recycled Aggregates and Recycled Aggregates Concrete ». Dans ce rapport, plusieurs termes de recyclage des granulats sont clarifiés, tels que : le béton d'origine, les agrégats recyclés et les bétons de granulats recyclés. Toutes ces définitions sont semblables à celles utilisées dans les pays d'Europe. Jusqu'au 1985, les agrégats recyclés sont utilisés dans le domaine routier. A partir de cette année, là, le recyclage est devenu un axe très développé avec aujourd'hui 5 fois plus d'installations de concassage par rapport à 1985.

5. TRAVAUX DE RECHERCHES ET ETUDES REALISES SUR LES DECHETS DU BATIMENT EN TANT QUE GRANULATS

Les matériaux pierreux, qui incluent notamment le béton et la maçonnerie, constituent la majeure partie des déchets produits (plus de 80%). Les produits de déblai et les gravats sont utilisés en premier lieu pour les travaux de remblayage ou de fondation, sur le chantier ou dans son environnement proche, et cela tant dans un souci d'économie que dans celui d'évacuer un type de déchet ne présentant pas de danger pour l'environnement. Le recyclage du béton de démolition et des gravats est devenu une nécessité économique dans certains pays où les graviers naturels sont rares (comme aux Pays-Bas, par exemple) [24].

La fraction pierreuse et sableuse des déchets provenant de la construction, de la réhabilitation ou de la démolition de bâtiment 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).

Il est rentable d'extraire certains matériaux en bon état du flux de débris et de les réutiliser ou de les vendre pour la réutilisation, tels que [24] :

- ❖ Vieilles briques.
- ❖ Pierres de taille.
- ❖ Plaques de marbre.
- ❖ Revêtements de sol.
- ❖ Tuiles en terre cuite.
- ❖ Pavés.

5.1 Déchets de plâtre

On peut distinguer trois sources de déchets à base de plâtre [34] :

- ❖ les déchets de production dans les usines de fabrication ;
- ❖ les déchets sur le chantier (immeubles neufs et travaux de réhabilitation) ;
- ❖ les déchets de chantier de démolition des immeubles existant.

5.1.1 Déchets de production

Les rebuts et déchets varient selon les unités en fonction du cycle de production : Il y a production de déchets en début et fin de cycle, les quantités sont donc variables selon que l'unité fonctionne en continu ou arrêt quotidien. Des rebuts exceptionnels peuvent également apparaître lors de problèmes dans le cycle de fabrication. Lors de la production de poudre, les déchets éventuels sont recyclés dans le processus de cuisson. C'est le cas, par exemple, des poussières émises lors de la cuisson du gypse et récupérées dans les fumées ou des gâteaux de poussière de gypse récoltés à la base des trémies. En ce qui concerne la production de carreaux, le recyclage de déchets ne doit pas poser de problème puisque ces produits sont en plâtre pur : ils peuvent donc être utilisés comme « gypse » dans le processus de cuisson [34].

5.1.2 Déchets de chantier

Sur chantier, le recyclage des déchets de plâtre a été validé lors d'opérations expérimentales. Le traitement des déchets est plus complexe car la solution fait appel à une coordination entre l'industrie du bâtiment, les réseaux de distribution, les fabricants et les organisations de tri [35].

Les professionnels européens semblent prêts à traiter les déchets de carreaux et de plaques de plâtre de démolition moyennant quelques précautions dans la déconstruction ou le tri des matériaux. Il est nécessaire de ne pas perdre de vue les problèmes de transport entre un chantier de démolition, une installation de tri de déchets et l'unité de recyclage-cuisson qui, dans bien des cas, ne seront pas sur les mêmes sites géographiques. D'ailleurs, les déchets de plâtre sont stockés correctement depuis des années dans la connaissance et le respect des techniques compatibles avec l'environnement. Un autre problème peut être envisagé : il s'agit de déchet d'enduit du plâtre sur béton ou maçonnerie. On ne dispose pas de technique adaptée de séparation du plâtre de son support. La présence de ce plâtre pose un problème au niveau du recyclage des gravats de démolitions comme granulats, car il peut entraîner la formation de sels de candlot. Ces sels expansifs peuvent causer des fissurations des bétons. C'est pourquoi, par prudence, les centrales de concassage refusent les déchets de démolitions si elles estiment visuellement que les quantités de plâtre sont trop élevées [35].

5.2 Déchets de Béton

Etant donné la durée de vie moyenne des constructions en béton et le fait que l'emploi du béton s'est développé surtout après la deuxième guerre mondiale, on se trouve maintenant au pied d'une montagne de débris de démolition [36]. Parmi eux, c'est le béton armé qui pose le problème de traitement le plus difficile, précisément à cause de ses armatures. Le réemploi des déchets de béton s'impose non seulement du point de vue écologique, mais aussi parce qu'il peut fournir des granulats pour béton ou pour d'autres utilisations [37]. En effet, le fait de trouver des domaines d'application pour le béton recyclé peut rendre nécessaire d'utiliser de nouvelles techniques de démolition ; par exemple, on pourrait démolir de façon sélective pour éviter les impuretés dans le béton recyclé.

Les granulats de béton concassés sont composés essentiellement de deux éléments de natures très différentes : des granulats ayant constitué le squelette solide des bétons et des grains de mortier concassé ; ceci leur confère donc une très grande hétérogénéité. La porosité des granulats de béton de démolition est plus élevée que celle des granulats naturels. Cette caractéristique peut influencer l'ouvrabilité du béton recyclé (rapport réel eau / ciment, ouvrabilité moins grande par rapport aux granulats naturels pour une même quantité d'eau de gâchage) [38]. La réutilisation du béton dans le bâtiment, encore au stade de recherche, impose, selon les résultats de recherches effectuées dans ce domaine, des exigences sévères de qualité des granulats, essentiellement au niveau de la propreté et de la granulométrie [30, 37].

D'autre part, la présence de certaines substances en trop grande quantité peut, en effet, provoquer des réactions indésirables dans le béton [30, 38] :

- ❖ les débris de certains verres peuvent être réactifs, en milieu humide et fortement alcalin, avec la pâte de ciment, et, par alcali-réaction, provoquer une formation de gel de silice gonflant ;
- ❖ les matières organiques peuvent amener un retardement de la prise du ciment et/ou une corrosion des armatures ;
- ❖ le gypse peut provoquer des «attaques sulfates» amenant la formation d'ettringite dans le béton durci et ainsi un gonflement du béton ;
- ❖ les chlorures dérèglent la prise et le durcissement du ciment et diminuent ainsi fortement la résistance finale du béton et peuvent également induire une corrosion des armatures ;

- ❖ les éléments légers ont en général une influence négative sur les caractéristiques finales du béton et contiennent souvent des éléments indésirables tels que le bois, le plâtre, les plastiques, etc.;
- ❖ les métaux altérables en milieu basique, tels que l'aluminium, le plomb, etc., sont également à proscrire.

Le recyclage de bétons de démolition permet aujourd'hui de produire de véritables granulats dont la caractérisation est compatible avec l'emploi dans les structures de chaussées. Après une bonne dizaine d'années d'expérimentation, de mise au point, de chantiers pilotes, il apparaît que les granulats de recyclage offrent une véritable alternative technique et économique dans bon nombre de chantiers, jusqu'aux autoroutes, même si le domaine d'emploi privilégié reste celui des infrastructures routières à trafic faible ou moyen [39].

5.3 Les débris de maçonnerie

Les débris de maçonnerie sont généralement constitués de déchets de béton, de briques silico-calcaires, de briques de terre cuite, de blocs de béton léger et d'autres types de blocs. D'autres déchets peuvent exister dans les déchets de maçonnerie, tels que les mortiers de ciment, les enduits et les produits de terre cuite comme les tuiles [26].

5.3.1 Les déchets de terre cuite

La fabrication des produits de terre cuite peut entraîner deux types de déchets : les rebuts de produits avant cuisson et les rebuts après cuisson. Les déchets générés dans les différentes étapes précédant le passage dans le four (façonnage, séchage) ne posent aucun problème : ils sont intégralement réintégrés dans le circuit de matières premières et recyclés en totalité [34]. Les déchets de cuisson, quant à eux sont utilisés de différentes manières :

- ❖ Ils peuvent être utilisés pour empierrer les chemins de voies de circulation des carrières de terre.
- ❖ Ils peuvent être broyés pour faire les revêtements de terrains de tennis.
- ❖ Ils peuvent être broyés et utilisés comme chamotte. Cette chamotte est l'un des dégraissants utilisés dans la préparation de l'argile.

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il existe toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton, ce qui est présenté dans notre partie expérimentale. D'autres recherches ont montré la possibilité de fabriquer un béton à base de granulats issus du concassage des briques de terre cuite. Un béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile comporte une résistance au feu, beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [40]. Cependant, il existe peu d'informations disponibles sur le devenir des déchets de démolition des produits de terre cuite. Des travaux ont été effectués au Danemark [34] envisageant un recyclage complet des maçonneries en brique de terre cuite : après démolition des murs, les briques avec mortier sont réduites. Ceci permet une séparation aisée des mortiers de chaux ou de ciment dégradés par les hautes températures. Ces mortiers ainsi régénérés sont utilisés de nouveau. La partie terre cuite est ensuite triée en briques entières et en demi-briques et autres petits éléments qui sont concassés pour faire des granulats [34].

5.3.2 Les déchets des produits silico-calcaire

Les briques silico-calcaire sont fabriquées industriellement par pressage et durcissement à la vapeur d'un mélange de sable, chaux pulvérisée et eau. Le phénomène physico-chimique s'achève presque entièrement à la sortie de l'autoclave contrairement au béton, qui n'acquiert sa résistance finale qu'à long terme. La brique silico-calcaire est utilisée dans beaucoup de pays occidentaux comme faisant partie des éléments porteurs dans des structures en génie civil [41]. Des recherches plus résistantes ont montré la possibilité d'utiliser les déchets des produits silico-calcaire dans les structures du bâtiment. Parmi ces recherches, on peut citer les travaux effectués par le laboratoire du CSTC en 1999 sur l'utilisation des débris de brique silico-calcaire dans la fabrication du béton hydraulique. Le but de ces recherches était de déterminer dans quelle mesure il était possible d'obtenir des valeurs de résistance et d'ouvrabilité acceptables avec les granulats issus du concassage de la brique silico-calcaire [32]. Une étude a été effectuée aux Pays-Bas sur la possibilité d'utiliser les concassés des débris des produits silico-calcaire dans la fabrication des briques silico-calcaire [40]. Des briques silico-calcaire ont été fabriquées en remplaçant une partie du sable naturel par un sable issu du concassage des déchets silico-calcaire. Ces briques ont été propriétés mécaniques très comparables à celles obtenus par les granulats naturels.

6. CONCLUSION

L'industrie du bâtiment utilise et génère aussi bien des matériaux (béton, plâtre, terre cuite, verre, etc.) que des matériaux organiques (bois, polymères, etc.) et métallique (acier, aluminium, cuivre, zinc, etc.). Par conséquent dans une optique de développement durable, l'industrie du bâtiment est confrontée à deux enjeux [9] :

- ❖ économiser les ressources naturelles en exploitant des gisements de matières premières secondaires ;
- ❖ améliorer la gestion de ses déchets d'un part en réduisant leur production à la source et d'autre part en trouvant des filières de valorisation adéquate.

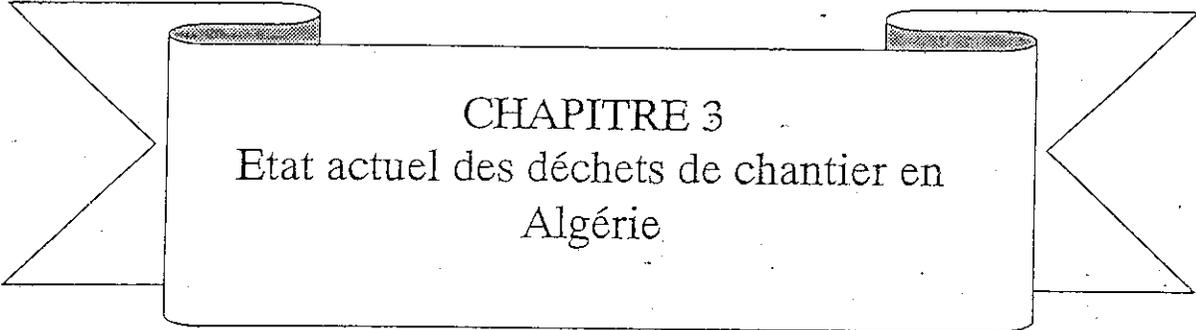
Recycler les déchets de chantier nécessite de mettre en place une véritable politique de gestion de ces déchets. Une meilleure gestion de déchets n'est possible que s'il existe entre les autorités et les professionnels (exploitants de décharges, transporteurs de déchets, producteurs de déchets) une collaboration permanente ce qui amènera à une adéquation entre les prescriptions réglementaires et ce qui est possible de réaliser techniquement et économiquement. De nombreuses actions sont menées en continu à travers le monde notamment dans les pays développés. Ces actions sont principalement accélérées par les moyens suivants [35] :

- ❖ la limitation des quantités de déchets produits ;
- ❖ une réglementation obligeant chaque producteur de déchets à traiter ces derniers ou à être pénalisé financièrement s'il ne le fait pas ;
- ❖ la mise au point éventuelle de nouvelles méthodes de démolition ;
- ❖ 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 recyclés.

Une analyse des expériences étrangères en matière de gestion des déchets de chantier, a conduit à dire que toute politique de traitement, d'élimination et de valorisation de ces déchets est conditionnée par une mise en place de mécanismes de quantification, d'identification et de gestion de ces déchets. Pour arriver à cet objectif, plusieurs projets de recherches ont été établis, notamment dans les pays européens pour chercher la possibilité de recycler et de valoriser ce type de déchets. Ces recherches sont essentiellement axées sur le recyclage du béton ; car ce matériau sera toujours le matériau de construction le plus couramment utilisé.

Cependant, il a été démontré le manque de normes mieux définies qui permettraient d'étendre l'emploi des granulats recyclés. Trop peu de normes décrivent la performance exigée du produit final sans s'appuyer sur la définition du matériau qui la fournira. L'adaptation des normes européennes sera un pas dans la bonne voie : on ne demandera plus aux granulats recyclés d'être identiques aux granulats naturels mais de répondre à des exigences (cahier des charges performantiel) [13]. En France par exemple [2], l'utilisation des granulats recyclés issus des déchets de construction se limite essentiellement au secteur routier, alors que certains pays [24], notamment les pays d'Europe du Nord, les utilisent également pour la fabrication des bétons. Les expériences et les différentes études menées dans ce domaine ont permis d'établir des guides de recommandations pour l'utilisation des granulats recyclés dans les bétons. Le TC 121 de la réunion internationale des laboratoires d'essais et de recherches sur les matériaux (RILEM) [29] a également édité un document de recommandations « Specifications for Concrete with Recycled Aggregates » pour l'usage des granulats recyclés dans le béton.

Plusieurs chantiers pilotes ont été menés dans les pays industrialisés conscients du problème des déchets de chantier pour montrer la possibilité de valoriser ce type de déchets afin de sauvegarder le milieu naturel. Parmi les chantiers pilotes les plus récents, on peut citer celui qui a été réalisé au CSTC en Belgique, dans le cadre du projet Recyhouse [8]. Il s'agit de la construction d'un bâtiment qui intègre une très large part de matériaux nouveaux provenant, en premier lieu, du recyclage des débris de construction et de démolition du bâtiment et du Génie Civil et, en second lieu, de la valorisation des déchets ou sous-produits issus d'autres secteurs industriels. Le projet Recyhouse a nécessité cinq années de travail (1996-2001) et a bénéficié de l'appui de la Commission européenne, dans le cadre de l'instrument financier « Life » (DG Environnement).



CHAPITRE 3
Etat actuel des déchets de chantier en
Algérie

TROISIEME CHAPITRE

ETAT ACTUEL DES DECHETS DE CHANTIER EN ALGERIE

1. INTRODUCTION

Depuis son indépendance, l'Algérie a poursuivi un vaste programme de développement économique et social qui s'est traduit par un important accroissement du tissu industriel et une amélioration significative du cadre de vie. Ce processus de développement intense, a entraîné la génération d'importantes quantités de déchets. Cet accroissement rapide des quantités de déchets générés par diverses activités, a induit sous la double pression de la croissance démographique et de la sursaturation des infrastructures urbaines, un dysfonctionnement des services chargés de la gestion des déchets, qui ne sont plus adaptés aux exigences actuelles.

Le secteur de la construction en Algérie affiche à l'heure actuelle un triste bilan en matière de gestion des déchets. Au niveau international, les chercheurs du secteur s'emploient à développer des constructions qui s'inscrivent dans un effet de développement «durable», pour lesquelles ils utilisent des matériaux recyclés et que la majorité de leurs rebuts peuvent être également récupérés [10].

En Algérie, les déchets de chantier ne sont pas clairement identifiés par la classification habituelle qui distingue les déchets ménagers ou assimilés, les déchets industriels et les déchets spéciaux. Ils sont souvent oubliés par les textes réglementaires en matière de gestion des déchets : on peut véritablement parler d'un vide juridique à leur sujet. Plus grave en vue, ces déchets sont parfois assimilés à des ordures ménagères, ce qui prouve l'absence d'une méthodologie bien claire ce qui concerne leur gestion.

Ce chapitre a été consacré à l'établissement d'un état des lieux des déchets de chantier en Algérie, dont le but de montrer leur impact sur l'environnement. Selon les informations recueillies au près du ministère de l'environnement, aucune étude n'a été effectuée auparavant sur ces types de déchets. Nous avons aussi parlé de la politique environnementale ainsi les textes réglementaires qui traitent la gestion des déchets et en particulier les déchets de chantiers.

2. LE CADRE REGLEMENTAIRE ALGERIEN

2.1 La politique de protection environnementale

Des préoccupations environnementales ont émergé en Algérie ces dernières années. En avril 1997, le gouvernement algérien a transmis à la commission du développement durable des Nations Unies un rapport sur la situation des déchets solides et sur les progrès accomplis depuis la conférence internationale sur l'environnement de 1992 organisée à Rio par l'ONU et, à laquelle l'Algérie a pris part [42]. Ce rapport précisait d'ailleurs que l'intégration de l'environnement et du développement durable dans le processus de décision est devenue effective à travers la mise en place durant les 5 dernières années de mécanismes institutionnels, juridiques et financiers. Plusieurs structures ont été créées, à savoir :

- ❖ Secrétariat d'Etat à l'Environnement (devenue ministère depuis) et d'une Direction Générale avec une autonomie de fonctionnement, dotée du pouvoir de puissance publique.
- ❖ Inspections de l'Environnement au niveau des 48 Wilayas du pays.
- ❖ Bureau communal de l'environnement et de l'hygiène pour chaque APC.
- ❖ Haut Conseil pour l'Environnement et le Développement Durable (HCEDD) (espace de concertation intersectoriel) présidé par le chef du Gouvernement.
- ❖ Conseil National Economique et Social, institution à caractère consultatif donnant un avis et des recommandations sur toutes les questions, économiques et sociales et donc sur les problèmes de développement durable.
- ❖ Le renforcement du dispositif réglementaire par la promulgation de normes de rejet dans le milieu naturel et la mise en œuvre effective des études d'impact sur l'environnement.
- ❖ La contribution du Fonds National de l'Environnement et l'institution de certaines taxes (taxe sur les activités polluantes, taxe d'assainissement, taxe sur les eaux usées) constituent des instruments qui permettent d'influer également sur la prise de décisions.

Que depuis la Politique du gouvernement a été maintenue dans cet axe et même affirmée plus fortement avec la création d'un ministère de l'Environnement. Lequel a concrétisé les intentions par une nouvelle loi sur la protection de l'environnement et le lancement de travaux d'études et de recherches sur la matière. Un programme d'action nécessitant des financements internationaux a d'ailleurs été présenté lors d'une conférence internationale regroupant divers organismes internationaux pour solliciter son financement (juin 2002 à l'hôtel d'Aurassi à Alger).

2.2 Législation et réglementation en matière de déchets de chantier

2.2.1 Contexte réglementaire jusqu'au 2001

La protection de l'environnement, et l'économie de matières premières nous incitent aujourd'hui à récupérer les déchets valorisables. Sur le plan législatif, on remarque qu'en Algérie :

- ❖ La loi sur l'environnement, en vigueur depuis 1983 [43], ne définit pas clairement les déchets de construction et de démolition. Ils sont généralement assimilés aux ordures ménagères et aucune gestion spécifique ne leur est dédiée.
- ❖ Sur le plan institutionnel, la responsabilité des collectivités territoriales en matière de collecte et élimination des déchets ménagers est précisée par contre en ce qui concerne les déchets de construction et de démolition celle-ci n'est pas claire.

En effet la loi 83-03 du 5 février 1983 [43] relative à la protection de l'environnement définit dans son deuxième chapitre le déchet et les responsables de l'élimination des déchets. En application de cette loi, le décret n° 84-378 exige uniquement le traitement des déchets solides urbains par la commune, conformément à l'article 107 du code communal.

2.2.2 La nouvelle loi sur l'environnement

Pour palier aux insuffisances de la loi 83-03 [43], le ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement a initié une nouvelle loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 [44], qui fixe le cadre général du contrôle et de l'élimination de déchets, ainsi que l'ensemble des activités qui se rapportent à la gestion des déchets, à savoir, la collecte, le transport, le tri, la valorisation et le traitement. L'article premier de cette loi, définit la politique nationale en matière de gestion des déchets qui repose sur les principes de base suivants :

- ❖ la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;
- ❖ l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- ❖ la valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage et toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie ;
- ❖ le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- ❖ l'information du citoyen sur les effets nocifs des déchets sur la santé publique et l'environnement et sur les mesures destinées à prévenir les dits effets.

La présente loi définit le déchet comme dans la précédente de 1983 : «tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer».

Par contre, l'article 3 de cette loi définit les déchets inertes comme : "tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles de nuire à la santé et / ou à l'environnement".

3. LES DECHETS DE LA CONSTRUCTION EN ALGERIE

3.1 Problématique générale

L'industrie du BTPH (Bâtiment, Travaux Publics et Hydrauliques) est grosse consommatrice de matières premières et productrice de déchets. Elle utilise et génère aussi bien des matériaux minéraux (béton, plâtre, terre cuite, laine minérale, verre, etc.) que métalliques (acier, aluminium, cuivre, zinc, etc.), voire celluloses (bois, ...).

En Algérie, la problématique des déchets de construction est proportionnelle au développement des secteurs du BTPH. Au vu de la demande très importante en matière de logements, d'infrastructures et d'équipements hydrauliques, l'Algérie connaîtra dans les années à venir une croissance très importante en matière de déchets de chantier dont la problématique se pose d'ores et déjà notamment dans les grands centres urbains. D'autre part, des statistiques ont été évaluées par le gouvernement concernant les déchets solides urbains et ont été transmises aux Nations-Unies [42]. Ces statistiques sont mentionnées dans le tableau 3.1.

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

Tableau 3.1 Statistiques des déchets solides en 1996 [42]

D'après les chiffres donnés dans le tableau 3.1, nous pouvons constater que :

- ❖ Le ratio des déchets urbains est de 0.500 Kg/habitant/jour ce qui correspond d'environ 5.5 millions de tonnes de déchets urbains par an pour une population estimée à 30 millions d'habitation. De ce chiffre, si on considère que les déchets issus du bâtiment représentent à eux seuls environ 40% on aura alors l'équivalent de 2.2 millions de tonnes par an.
- ❖ Le taux de recyclage des déchets est estimé à 10% ce qui est insuffisant vu la quantité considérable des déchets générés par an.

Toutes fois, il n'existe pas de statistiques précises sur les déchets issus du bâtiment et c'est pourquoi nous avons du faire cette estimation très approximative. Nous présenterons plus loin les résultats d'une enquête statistique que nous avons mené afin de palier à cette insuffisance pour le sous secteur bâtiment.

3.2 Etat des déchets du sous secteur du bâtiment

En Algérie, le bâtiment est considéré comme étant une activité importante dans le secteur du BTPH. Par conséquent, elle génère des quantités de déchets importantes par rapport aux deux autres secteurs.

Dans ce qui suit, on s'intéressera plus précisément aux déchets générés par le sous secteur du bâtiment. Les déchets de bâtiment proviennent généralement :

- ❖ des chantiers qui regroupent les déchets de la construction neuve, de la réhabilitation et de la démolition ;
- ❖ de la fabrication de matériaux et d'éléments de construction qui proviennent des unités de fabrication de matériaux de construction et des installations de préfabrifications des éléments de construction.

3.2.1 Les déchets produits par les chantiers

Ces dernières décennies, l'activité du bâtiment a connu une évolution très considérable et ce pour faire face à une demande en logements toujours en augmentation. Cette situation induit une augmentation considérable des déchets de chantiers. Les informations disponibles relatives aux déchets de chantiers du bâtiment sont plus limitées. Nous donnerons ci-après des estimations théoriques pour évaluer la quantité des déchets de chantiers du bâtiment.

a) La construction neuve

L'estimation de ces déchets peut être donnée à titre indicatif en considérant que lors de la réalisation d'un logement, celui-ci peut engendrer en déchets à peu près un poids de 5% du poids total de cette bâtisse. Ce taux représente les chutes provenant de chaque matériau utilisé pour la réalisation de ce logement (voir figure 3.1 – a et b).



a- Chutes de bois et de ferraille



b- Débris de briques, de voûtains et de béton

Figure 3.1 Déchets de chantiers de construction

En partant de l'hypothèse que le poids d'un logement moyen «type F3» est de 120 tonnes (y compris le poids des fondations), on aura donc 6 tonnes de déchets par logement. En 1999, il était prévu de livrer 160 000 logements [45]. On aurait une production d'environ 1 million de tonnes de déchets issus uniquement du secteur de l'habitat. Les divers équipements d'accompagnements, infrastructures scolaires, administratives, hospitalières et autres, représentent un nombre d'équivalent au tiers du nombre des logements réalisés, ils génèrent donc environ 0.33 millions de tonnes de déchets supplémentaires.

b) La démolition et la réhabilitation

Selon les informations recueillies auprès de certaines communes, les travaux de démolition ou de réhabilitation n'ont jamais fait l'objet d'un suivi qui permettrait aux services de l'APC d'identifier et d'évaluer la quantité de déchets générés lors de ces travaux.

D'autre part, des expertises sur l'état physique du parc immobilier ont été effectuées par les services du CTC (Contrôle Technique de la Construction) et qui ont montré que des milliers d'immeubles menacent la ruine à travers tout le territoire.

A titre d'exemple, la dégradation du patrimoine immobilier à Alger a connu des proportions importantes durant ces trois dernières années indiquent que celui-ci est composé de 6655 immeubles collectifs et de 5106 autres individuels (villas). Les services du CTC ont montré que 1521 immeubles, soit 18% du parc immobilier, nécessitent une intervention parmi ces immeubles, 169 sont à démolir et 1352 demandent une réhabilitation. Le tableau 3.2 illustre les investigations effectuées par les services du CTC concernant l'état physique des vieux immeubles de la capitale [extrait de l'article «ces immeubles qui menacent ruine»-LIBERTE 8 juin 2000

OPGI	Immeubles à démolir		Immeubles à réhabiliter	
	Nombre d'immeubles	Nombre de logements	Nombre d'immeubles	Nombre de logements
Sidi M'hammed	114	1011	383	10373
Bad El-Oued	30	240	262	2882
Dar El-Beida	-	-	152	3322
Hussein Dey	07	151	46	352
El-Harrach	11	149	01	21
Bir Mourad Rais	-	-	500	8000
R.F.V.A	07	216	08	232
TOTAUX	169	1767	1352	25182

Tableau 3.2 Etat physique des vieux immeubles de la capitale

Autres déchets peuvent être générés lors des travaux de modification effectués sur les logements individuels. Ces travaux sont effectués par deux catégories d'habitant. La première catégorie concerne les acquéreurs de logements neufs collectifs (cités HLM) où les occupants effectuent eux même des travaux de modification. La deuxième catégorie concerne les propriétaires d'anciennes habitations, qui, souvent des travaux de rénovation ou d'entretien (voir figure 3.2). Ces petits travaux, pris individuellement ne génèrent pas de grandes quantités de déchets, mais leur multiplication est telle qu'on ne peut pas négliger leur production de déchets et créant généralement des dépotoirs sauvages dans nos cités et aux bords des routes (voir la figure 3.3 - a et b). Si on considère que 30% des logements livrés annuellement (en prenant une moyenne de 150000 logements /an, on aura un chiffre de 450000 logements) subissent ce genre de transformation, et que chacun de ces logements produit en moyenne 2.5 tonnes de déchets on aura donc l'équivalent de 112500 tonnes de déchets à mettre en décharge.

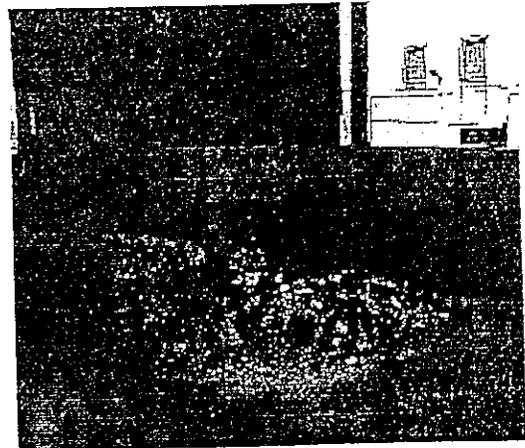
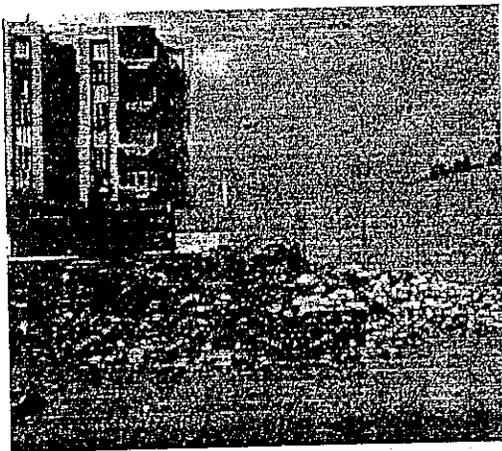
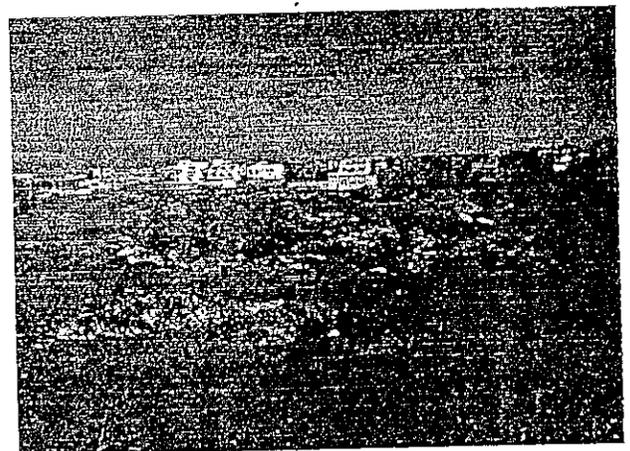
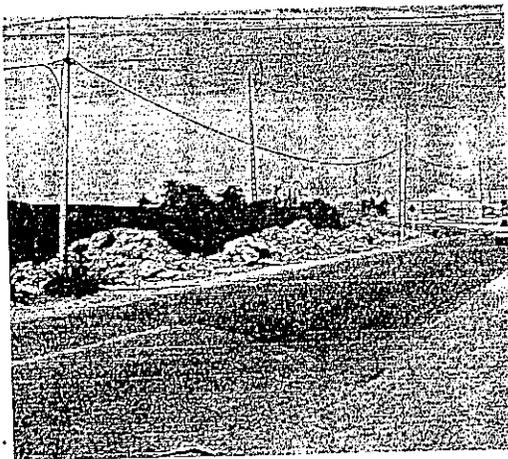


Figure 3.2 Déchets issus des travaux de transformation



a- Dépôt des déchets de chantier
aux abords des routes

b- Dépôt des déchets de chantier
aux abords de la mer

Figure 3.3 Dépôts sauvages des déchets de chantiers

3.2.2 Déchets de fabrication de matériaux et d'éléments de construction

Les déchets générés par la fabrication des matériaux de construction peuvent être classés en deux grandes catégories : Les déchets non consolidés dans les étapes précédant une phase de prise-durcissement ou de cuisson et les déchets consolidés apparaissant après cette étape. Le recyclage des déchets non consolidés se fait généralement sans difficulté. Ces matériaux peuvent être réintroduits dans le cycle de fabrication. C'est le cas par exemple des produits de terre cuite. Pour ce qui est des produits consolidés, leur valorisation nécessite au moins des opérations de concassage et de broyage. Ils sont souvent destinés à la décharge ou servent comme comblement de carrières.

a) Les déchets produits par les éléments de maçonnerie

En Algérie, les éléments de maçonnerie les plus couramment utilisés dans le secteur de l'habitat sont les briques de terre cuite et les parpaings de ciment, alors que la pierre est plus souvent utilisée dans les régions du sud. D'autres éléments de maçonnerie sont aussi présents dans le secteur de l'habitat tels que, les briques silico-calcaire, les blocs de béton cellulaire et les blocs de terre stabilisée. Ces éléments sont encore en phase de promotion.

La fabrication des éléments de maçonnerie peut entraîner deux types de déchets : les rebuts de produits avant cuisson et les rebuts après cuisson. Les processus de fabrication de ces éléments, notamment la brique de terre cuite et le parpaing de ciment, sont mal contrôlés, ainsi la température de cuisson des briques de terre cuite n'est plus homogène du fait, de vieillissement de la majorité des fours existants dans nos briqueteries. Cette situation entraîne donc des pertes importantes en matière qui varient, selon les usines, de 5 à 10% de la production totale de ces éléments. Le tableau 3.3 donne les capacités de production des éléments de maçonnerie utilisés dans le bâtiment. Ces données sont obtenues suite à l'enquête réalisée par le CNERIB entre 1999 et 2000 [46] dans le cadre d'une étude comparative des éléments de maçonnerie en Algérie.

Les éléments de maçonneries	Capacité théorique (tonnes)	Production annuelle (tonnes)	Rendements (%)
Parpaing	ND	2730000	ND
Briques Silico-Calcaire	434000	217500	50
BTS (type Compaxol)	45000	42300	94
Produits rouges	5913000	3352000	57
Total	6392000	6341800	-

Tableau 3.3 Production annuelle des éléments de maçonnerie (entre 1999 et 2000) [46]

En ce qui concerne le parpaing, peu de données sont disponibles sur les capacités théoriques installées, vu le grand nombre de petites unités artisanales de statut privé disséminées à travers le territoire et qu'il a été difficile de recenser. Par contre, pour la pierre, peu d'informations sont disponibles, ce qui est dû au fait que la production est à ce jour artisanale et aussi réservée à des régions bien particulières où ce matériau est abondant. Si en se basant sur une perte d'un taux moyen de 5% pour l'ensemble de la production des éléments de maçonnerie, on obtient une production de déchets de l'ordre de 317090 tonnes /an.

b) Les déchets de béton cellulaire

Le béton cellulaire est un matériau léger à structure alvéolaire. Il est obtenu par traitement thermique à l'autoclave d'un mélange de sable siliceux broyé, de chaux, de ciment, parfois de gypse. Les opérations de fabrication de ce béton génèrent deux types de résidus : les déchets «crus» et les déchets «autoclavés» [34]. Les déchets crus sont essentiellement les résidus des opérations d'arasement et de découpes par sciage et fraisage des produits avant traitement hygrothermique. Ces résidus sont recyclés en totalité c'est-à-dire réintroduits dans leur processus de fabrication. La quantité des rebuts autoclaves est difficile à estimer et ces déchets sont généralement mis en décharge.

Au niveau national, deux unités de fabrication des éléments de béton cellulaire sont installées, l'une est située à Meftah (centre) et l'autre à Oum Teboul (nord-est). Selon l'étude réalisée par le CNERIB [47] la production moyenne annuelle du béton cellulaire de l'unité de Meftah est de 5000 tonnes /an et avec un pourcentage de rebuts de l'ordre de 4%. La production annuelle de rebuts de ce matériau pourrait donc atteindre les 400 tonnes/an en prenant en compte les deux usines.

c) Les déchets produits par les éléments à base de béton

❖ Béton prêt à l'emploi

Les bétons prêts à l'emploi sont des bétons préparés dans les centrales à béton, et transportés sur les lieux d'utilisation dans les camions malaxeurs. Actuellement, la majorité des centrales à béton sont vieilles et peu performantes. Il n'est pas donc possible de garantir la qualité et la régularité du processus de fabrication, par conséquent, il y a de véritables rebuts de production. D'après les informations recueillies, les rebuts sont essentiellement dus aux [48] :

- ❖ lavage du malaxeur chaque jour en fin de fonctionnement ;
- ❖ retours de béton : il s'agit en général de béton renvoyé en centrale par des clients ayant surestimé les volumes de béton à utiliser.

Ces différents rebuts représentent des quantités relativement importantes. Ainsi pour une centrale produisant 30000 m³ /an, le taux de rebuts peut être de l'ordre de 3% soit 900 m³ /an ou 2000 tonnes /an.

❖ Béton d'éléments de construction préfabriqués

Les éléments de béton manufacturé comprennent aussi bien des éléments de structure (poteaux, poutres, panneaux), des éléments de construction (panneaux de façade) que des éléments standardisés tels que des blocs, poutrelles et entrevous pour planchers et prédalles ou des éléments de couverture et de tuyaux d'assainissement. La fabrication de ces produits génère deux types de déchets :

Les déchets non durcis : Ce sont essentiellement des produits frais défectueux. Ces déchets sont généralement réintroduits dans leur processus de production.

Les déchets durcis : Ce sont les déchets constitués par les éléments cassés. Ces derniers sont mis en décharge.

En absence de chiffre relatif à la production annuelle de ces éléments, on estime, toute fois un taux de rebuts de 3 à 7%.

d) Les produits de revêtement en granito et céramiques

Les déchets ou la casse sur les produits de revêtement en granito et céramiques sont difficiles à estimer. Dans le bâtiment, le carrelage granito est plus utilisé par rapport aux revêtements de sol à base de céramique ou de PVC. Tous les déchets produits dans les étapes précédant le durcissement ne posent aucun problème : ils peuvent être intégralement réintégrés dans le circuit de préparation de la matière première. Pour une surface moyenne de 70 m² d'un logement on a l'équivalent de 1.6 tonnes de carrelage granito à mettre en œuvre. Donc le besoin en carrelage pour les 150000 logements annuels sera de l'ordre de 240000 tonnes et à un taux de rebuts de 5% on aura alors une quantité de déchets de 12000 tonnes. Si on leur ajoute environ 30% pour ceux provenant des carrelages destinés aux constructions autres que logements, on obtiendra un total de 15600 tonnes/an de déchets.

3.3 Estimation théorique des déchets du bâtiment

Actuellement, les déchets de chantier du bâtiment sont sous estimés et il n'existe aucune statistique faite pour ce type de déchets. Pour combler cette lacune, nous avons recueilli quelques informations concernant la quantité des déchets du bâtiment générée chaque année dont nous pouvons ci-après donner l'estimation théorique. Cependant que cette estimation a été évaluée à titre indicatif afin de montrer la problématique considérable de ces déchets. Le tableau 3.4 rassemble les quantités des déchets du bâtiment. A noter que la quantité de chaque type de déchets a été donnée dans les paragraphes précédents.

Type de déchets	Quantité en millions de tonnes
Construction neuve	1.33
Réhabilitation et démolition	0.400
Travaux de transformation de logements	0.113
Fabrication des matériaux et d'éléments de construction	0.34
Total des déchets	2.183

Tableau 3.4 Estimation théorique de la production annuelle des déchets du bâtiment

La figure 3.4 illustre la répartition en pourcentage des déchets du bâtiment produits chaque année.

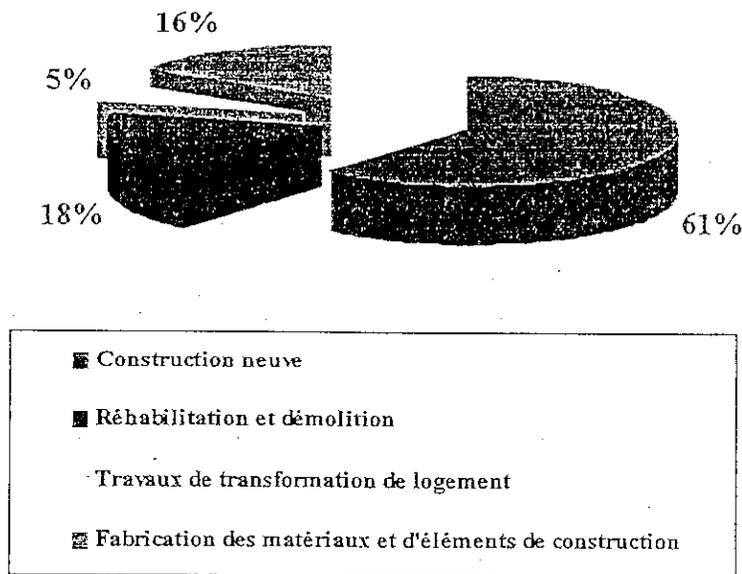


Figure 3.4 Répartition des déchets du bâtiment (estimation théorique)

D'après les valeurs regroupées dans le tableau 3.4 et sur la figure 3.4, on constate que le chantier de construction neuve produit la plus grosse part des déchets de bâtiment devant les autres types de déchets. Cependant que des données concernant les déchets de démolition sont pour le moment non disponibles, car aucune étude n'a été effectuée pour quantifier ce type de déchets.

4. GESTION DES DECHETS DE CHANTIER DE CONSTRUCTION EN ALGERIE

Dans le but d'apprécier la gestion des déchets de chantier en Algérie, nous avons envoyé un questionnaire aux inspecteurs de l'environnement des 48 Wilayas concernant les déchets de chantier et leur gestion. D'autre part, nous sommes intervenus sur site afin de localiser les décharges existantes dans la Wilaya d'Alger et leur impact sur l'environnement. Toujours, dans le cadre de cette enquête, nous avons choisi une décharge contrôlée située à l'Ouest d'Alger où nous avons fait un contrôle continu pendant 5 jours en déterminant la quantité et la qualité des déchets générés dans cette décharge.

4.1 Situation des décharges : Questionnaire à l'échelle nationale

Afin de mieux déterminer l'impact des décharges sur l'environnement et leur situation à l'échelle nationale un questionnaire élaboré au CNERIB a été adressé aux inspecteurs de l'environnement des 48 Wilayas que compte le pays. En annexe 1, on présentera un questionnaire type. Le tableau 3.5 regroupe l'ensemble des réponses données par les inspecteurs de l'environnement trouvés dans le territoire national.

Wilayas	Nombres des décharges contrôlées	Quantité des déchets de chantier	Existence d'un tri à la source	Taxation sur la mis en décharge
Alger	02	Bâtiment: néant Travaux publics : 80 m ³ /mois	Pas vraiment	Oui
Béchar	Non	Non	Nul part	Non
Béjaïa	01	Néant	Non	Non
Guelma	Semi-contrôlée	indéterminée	Non	Non
Médéa	Semi-contrôlée	Néant	Nul part	Nul part
Naâma	Non	Non disponible	Non	Non
Sétif	Non	Bâtiment :10% Travaux publics : 15%	Non	Non
Souk-Ahras	Non	Information non disponible	Non	Non
Tiaret	Non	Non	Néant	Oui sur les activités polluantes ou dangereuses
Tindouf	Non	Non	Non	Non
Tipaza	2 décharges	200 à 300 tonnes par jour	Néant	Non
Tissemsilt	Non	Non disponible	Néant	Non
Tlemcen	Oui 1 décharge à Koudiau	Non déterminée	Oui par les APC concernées	Non

Tableau 3.5 Situation des décharges dans le pays

D'après les réponses que nous avons aboutit, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- ❖ La plupart des inspecteurs confirment que les déchets de chantier sont pour la plupart dirigés vers des sites de dépôt sauvage ou alors mélangés avec les déchets ménagers ou encore utilisés dans les opérations de remblai. Autrement dit nous pouvons dire qu'il existe très peu de décharges réservées exclusivement aux déchets de chantier.
- ❖ Dans la majorité des Wilayas, les déchets de chantier ne sont pas bien quantifiés. Bien que quelques chiffres sont donnés et qu'ils montrent clairement l'importance de ces déchets.
- ❖ Les déchets de chantier sont gérés d'une façon non réglementaire et à l'heure actuelle, il n'existe aucun plan de gestion des déchets concernant, principalement leur collecte, leur transport et enfin leur mise en décharge.
- ❖ Le déchargement des déchets dans les décharges contrôlées se fait dans la plupart de cas sans paiement.

4.2 Enquête sur sites

4.2.1 Les décharges de déchets de chantier existantes dans la Wilaya d'Alger

Dans le souci de montrer l'état actuel des déchets de chantier et leur gestion, nous avons effectué une enquête sur site auprès de certaines communes (Douera – Souidania – Béni-Messous et Chéraga) afin de déterminer la quantité et la nature des déchets générés dans ces communes. Notre enquête portait sur les points suivants :

- ❖ l'impact des décharges sur l'environnement ;
- ❖ les ressources des déchets générés dans les décharges contrôlées existantes ;
- ❖ l'établissement d'une carte de localisation indiquant les déchets de chantier générés dans la Wilaya d'Alger ;
- ❖ la taxation imposée sur la mise en décharge des déchets de chantier.

Afin de mettre en évidence l'impact des décharges sur l'environnement, nous avons effectué plusieurs sorties sur le terrain comme il est montré dans les figures 3.5 et 3.6. D'autres photos sont représentées dans l'annexe 1 (N°1, 2, et 3). Toutes ces photos prises lors de notre enquête montrent que les déchets de chantier sont générés dans la plupart des cas dans les débords des routes ou ils sont souvent mélangés avec les déchets ménagers.

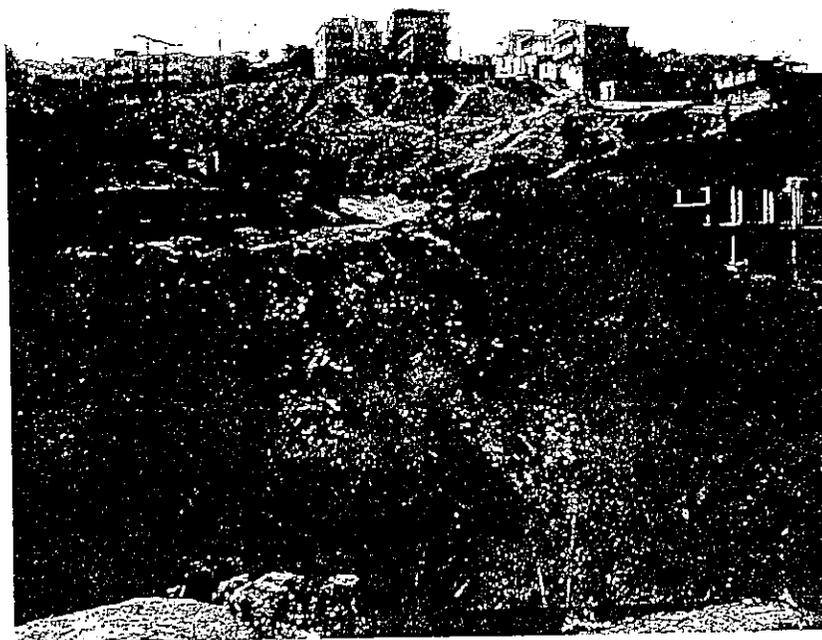


Figure 3.5 dépotoir de déchets (Béni-Messous – sortie vers la forêt de Baïnem)

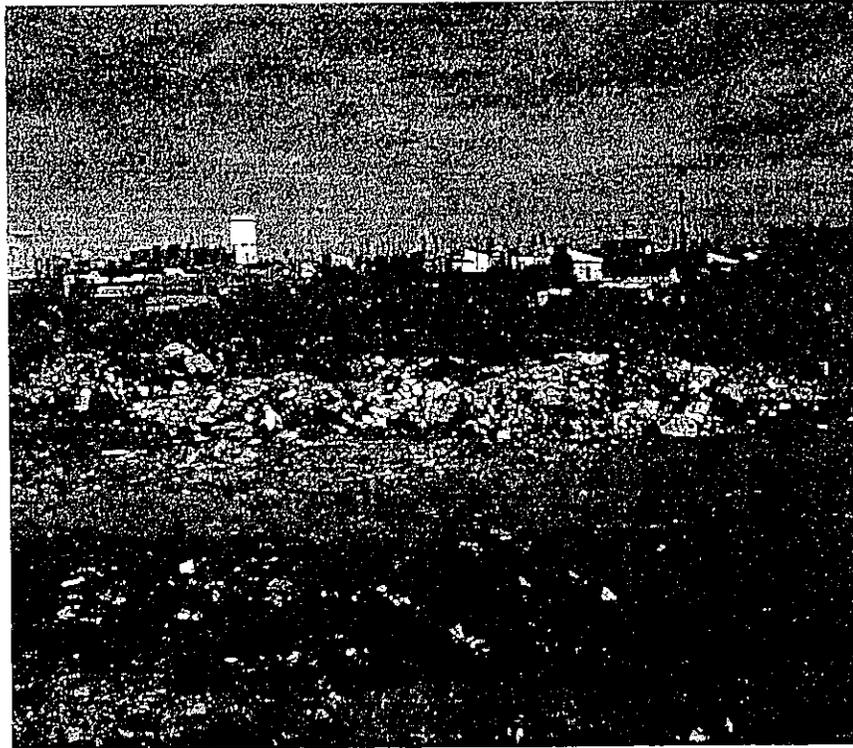


Figure 3.6 Dépotoir de déchets (El Quaria – Chéraga)

Pour bien localiser les déchets de chantier existants dans la Wilaya d'Alger, nous avons fait une tournée dans la partie de l'Ouest algérois où nous avons établi des cartes de localisation afin d'identifier et matérialiser ces déchets. Les figures 3.7, 3.8, 3.9 et 3.10 présentent les cartes de localisation des déchets durant notre tournée.

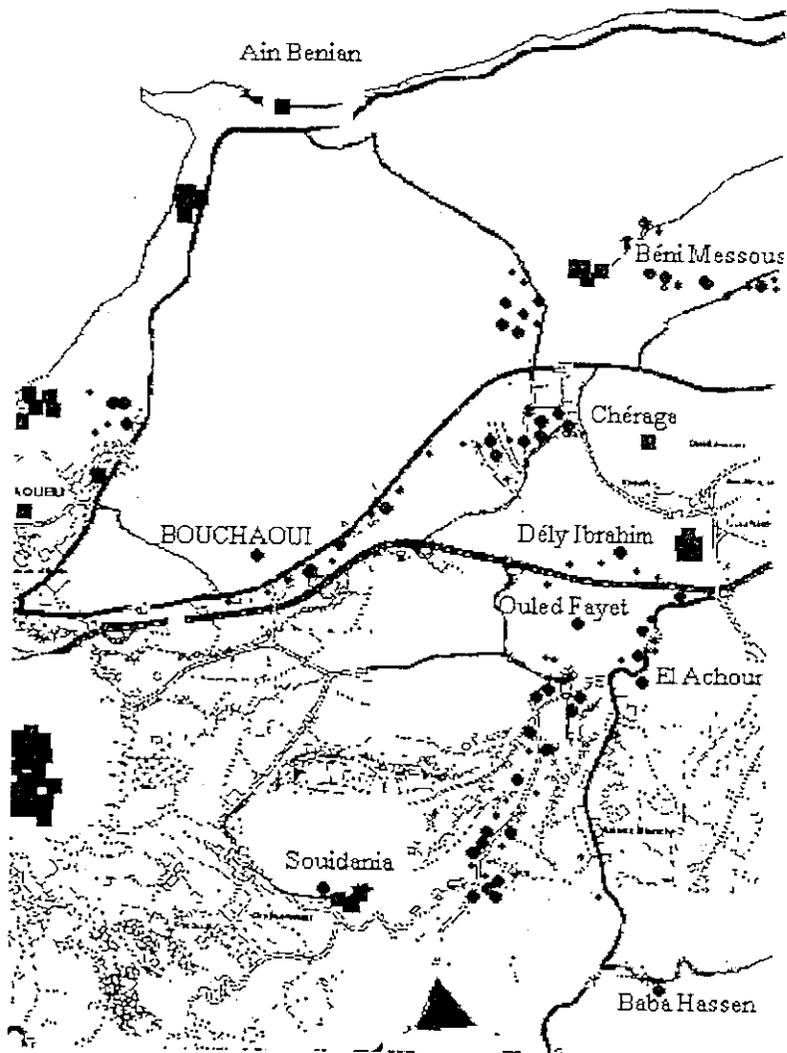
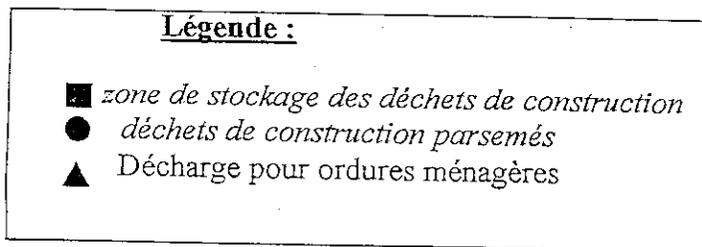


Figure 3.7 Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte l'Ouest Algérois (axe Ain Benian-Chéraga-Ouled Fayet)



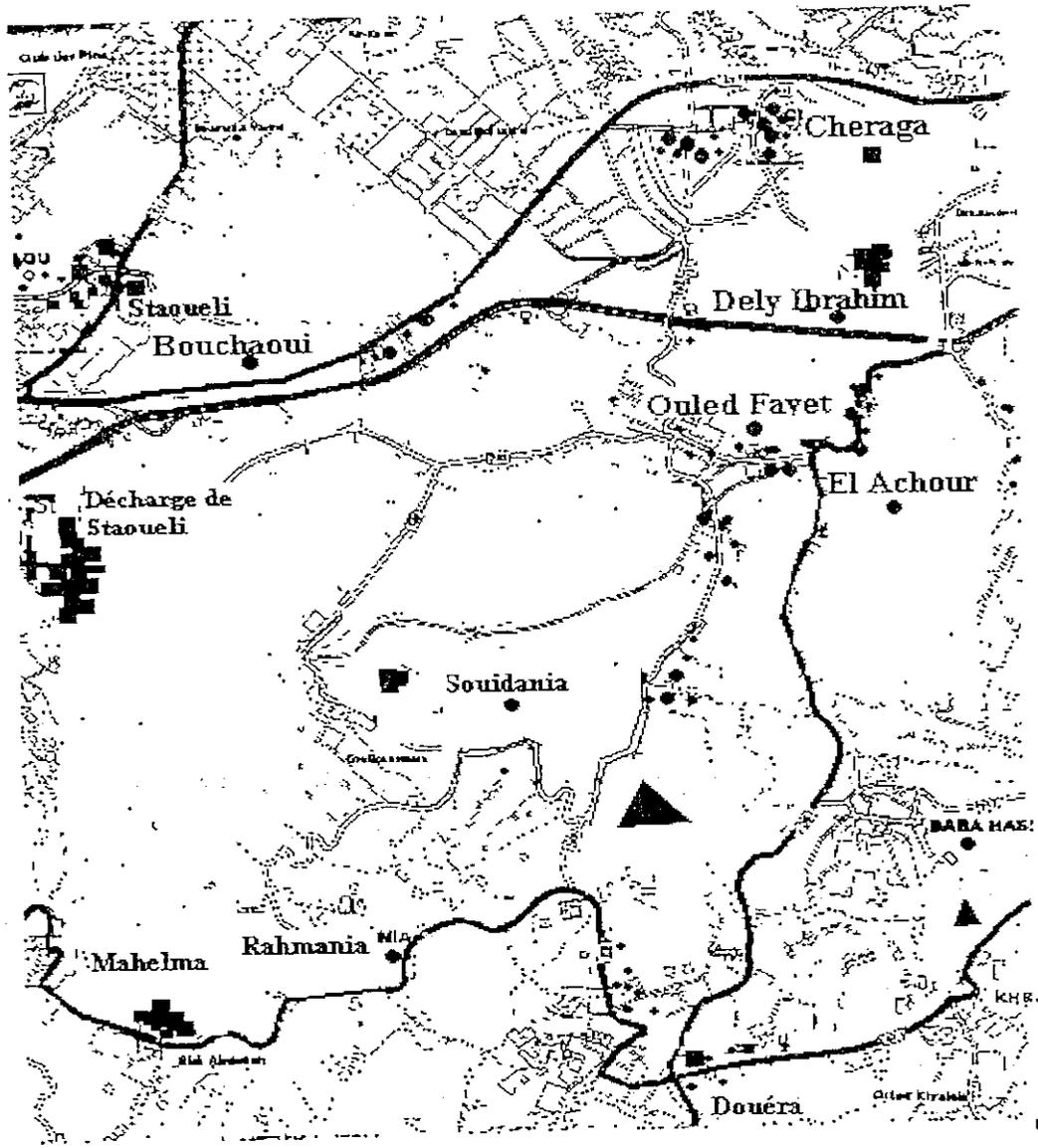
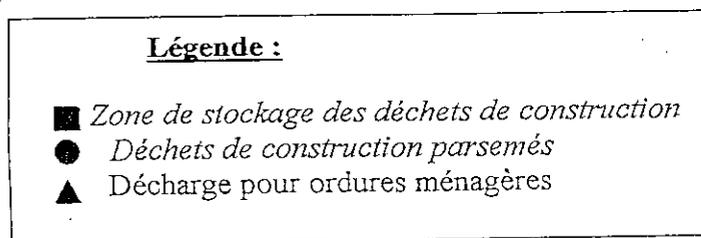


Figure 3.8 Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte P'Ouest Algérois (axe Chéraga-Ouled Fayet-Douéra)



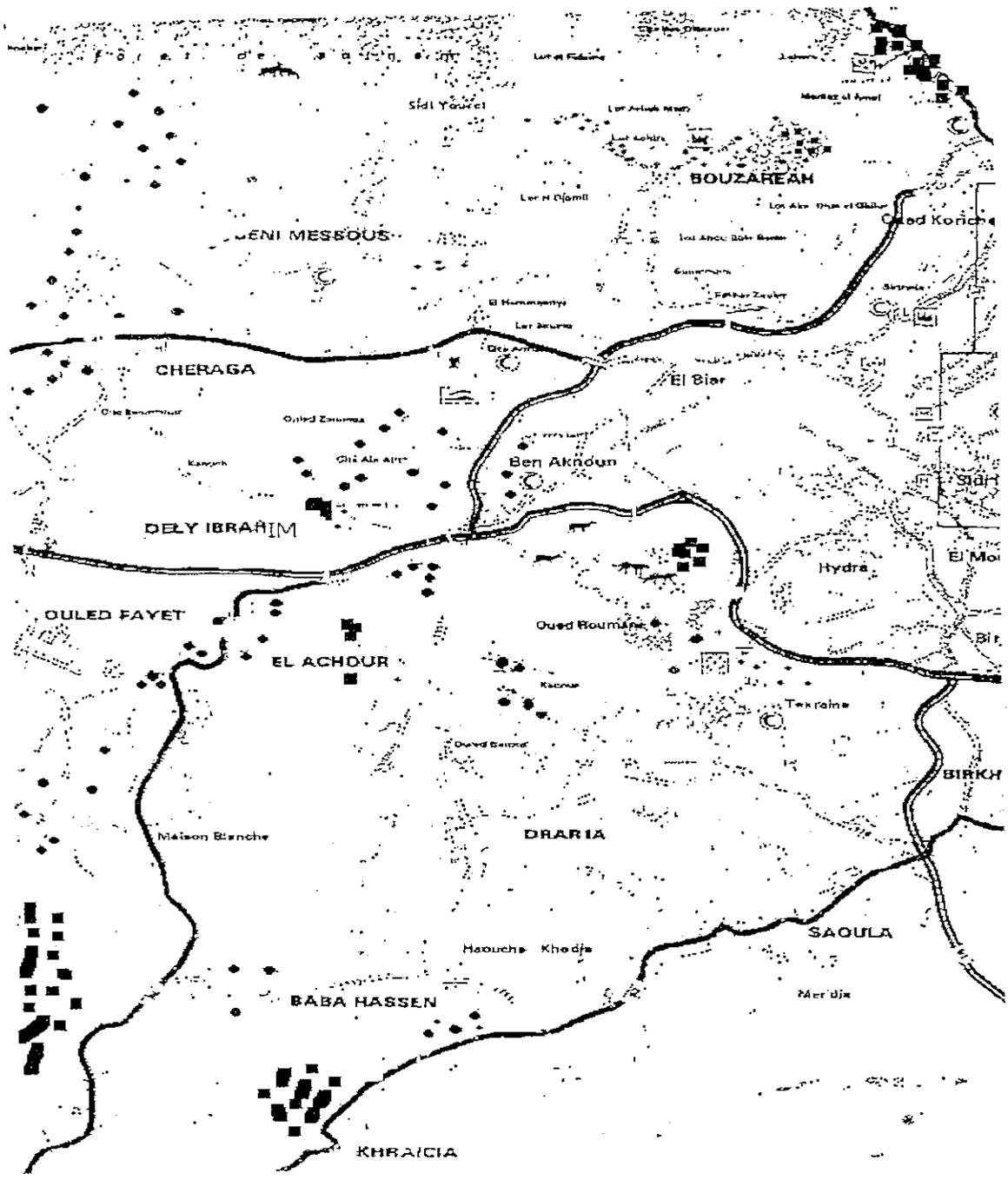


Figure 3.9 Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte P Ouest Algérois (axe Douéra – Chéraga-Bouzaréah)

Légende :

- Zone de stockage des déchets de construction
- Déchets de construction parsemés
- ▲ Décharge pour ordures ménagères

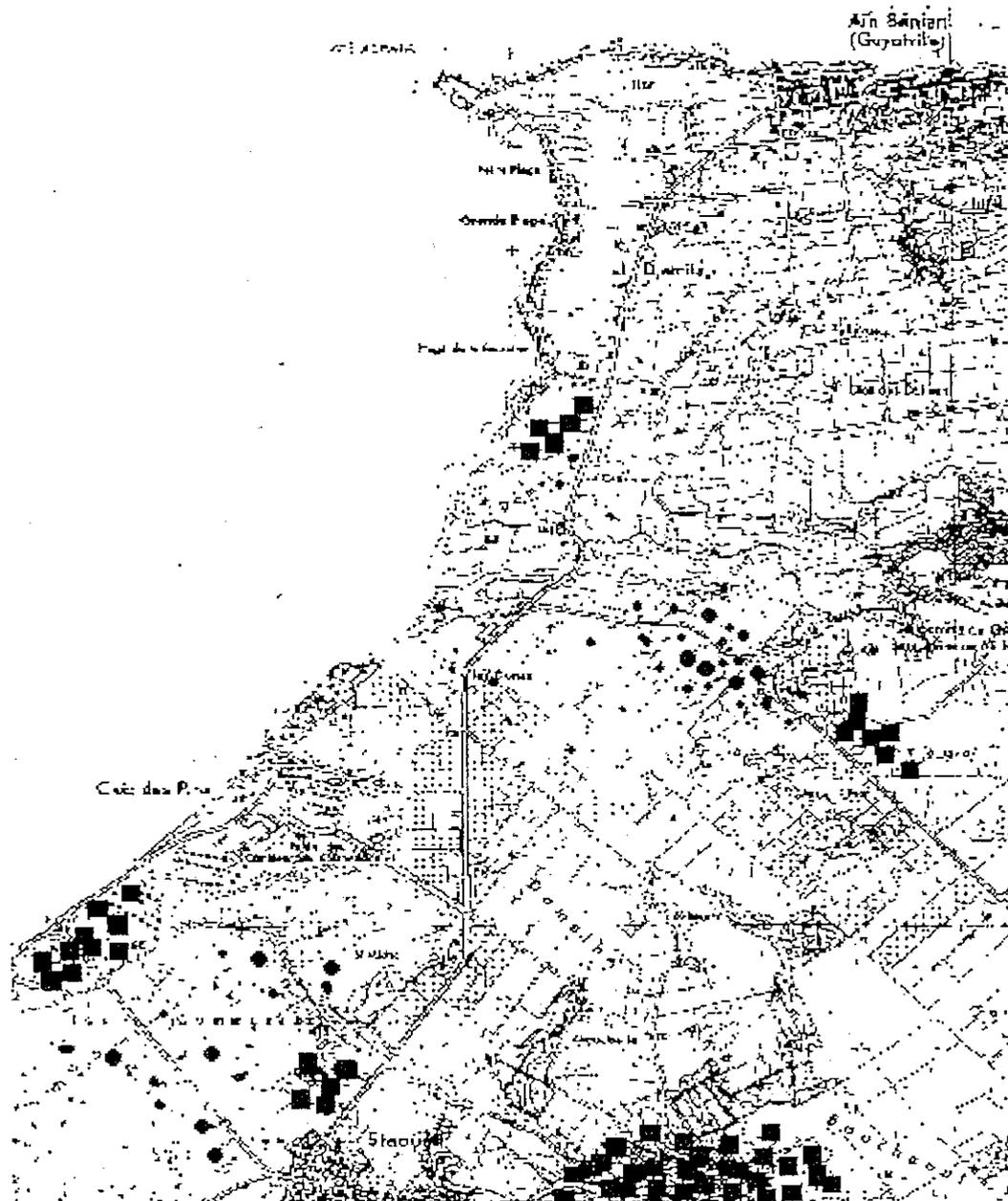


Figure 3.10 Localisation de déchets de construction dans une partie de la côte l'Ouest Algérois (axe Ain Bénian- les Dunes-Staouéli)

Légende :

- Zone de stockage des déchets de construction
- Déchets de construction parsemés
- ▲ Décharge pour ordures ménagères

D'après ces cartes, nous pouvons constater que les déchets de chantier sont généralement rejetés aux abords des routes et le plus souvent sont générés à la sortie des agglomérations. Ces déchets proviennent dans la majorité des opérations de réhabilitation et de démolition effectuées par les particuliers. Tandis que les déchets issus du secteur public ils sont déversés dans des décharges publiques existantes dans la Wilaya d'Alger. Dans la Wilaya d'Alger il existe deux décharges « contrôlées » pour les déchets de chantier. Ces décharges sont en exploitation depuis deux ans. L'une est située à l'est d'Alger (décharge pour gravats de Hamiz) d'environ 6 ha de superficie et l'autre à l'ouest (décharge pour gravats de Staoueli) de 10 ha de superficie (voir figure 3.11 et 3.12)

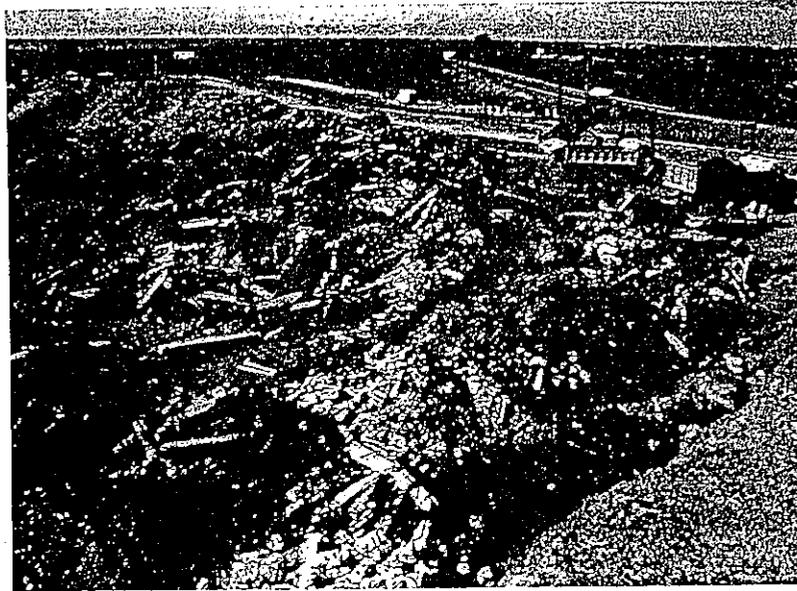


Figure 3.11 Vue partielle de la décharge de Staoueli



Figure 3.12 Vue partielle de la décharge du Hamiz

Ces zones de gravats sont destinées à recevoir exclusivement les déchets de construction et de démolition ainsi que les terres végétales. Les services de l'EPIC Asrout de la Wilaya d'Alger se chargent de la mise en décharge des déchets de chantier et le contrôle des deux zones de gravats. Il faut noter ailleurs que l'entreprise chargée du contrôle de ces deux décharges exige un paiement aux producteurs de déchets. Ces tarifs sont fonction de la quantité de déchets arrivée à la décharge. Le tableau 3.6 donne les tarifs exigés par l'EPIC ASROUT.

Quantité	Payement HT	TVA (%)	TTC
Camionnette	200.00	14	22800
Camion de 2.5 à 3 T	480.00	14	54720
Camion de 5 à 9 T	600.00	14	68400
Camion de 10 à 12 T	800.00	14	91200
Camion plus de 12 à 20 T	1120.00	14	1276.80

Tableau 3.6 Taxation de mise en décharge (donnée par l'EPIC- ASROUT)

D'après notre enquête, les producteurs privés considèrent que ces tarifs de mis en décharge sont trop élevés, à cette fin, ils préfèrent jeter leurs déchets de chantier dans la nature ce qui dégrade l'environnement.

4.2.2 Détermination de la quantité et de la qualité des déchets d'une décharge « contrôlée » : Décharge de Staoueli

Dans le but d'apprécier la manière de gérer les décharges « contrôlées » en Algérie, nous avons choisi une décharge située à l'ouest de la Wilaya d'Alger c'est la décharge de Staoueli. Notre intervention sur site s'est effectuée de manière continue durant 5 jours (du 2 juillet 2000 au 6 juillet 2000). Pour chaque chargement de déchets entrant à cette décharge, un rapport a été rédigé comprenant les informations suivantes :

- ❖ La date et l'heure de réception des camions.
- ❖ La quantité fournie par chaque camion.
- ❖ L'origine du déchet.
- ❖ L'identification du producteur de ces déchets.
- ❖ La nature du déchet.
- ❖ Le nombre des camions arrivés à chaque jour.

Des modèles types des fiches de notre enquête sur la décharge de Staoueli ont été présentés dans le tableau 1et 2 de l'annexe 1. Le tableau 3.7 regroupe les résultats obtenus a l'issue de cette enquête sur cette décharge (des tableaux récapitulatifs des 5 jours d'intervention sont présentés dans les tableaux 3, 4, 5, 6 et 7 de l'annexe 1).

TYPES DES DECHETS	QUANTITE EN TONNES
Béton armé ou non	0.30
Débris de maçonnerie	8.40
Terre d'extraction+ gravats	3.40
Pierre naturelle	12.75
Bois	17.50
Métal	1.90
Bitume, asphalte	3.15
Plâtre	0.30
Céramiques et tuiles	1.50
Plastique	13.15
Papier	5.77
Total des déchets	68.12

Tableau 3.7 Typologie des déchets déposés à la décharge de Staoueli pour la période du 2/07/2000 au 6/07/2000.

La figure 3.13 illustre les proportions en % des différents déchets pour la décharge de Staoueli à l'issue de notre enquête.

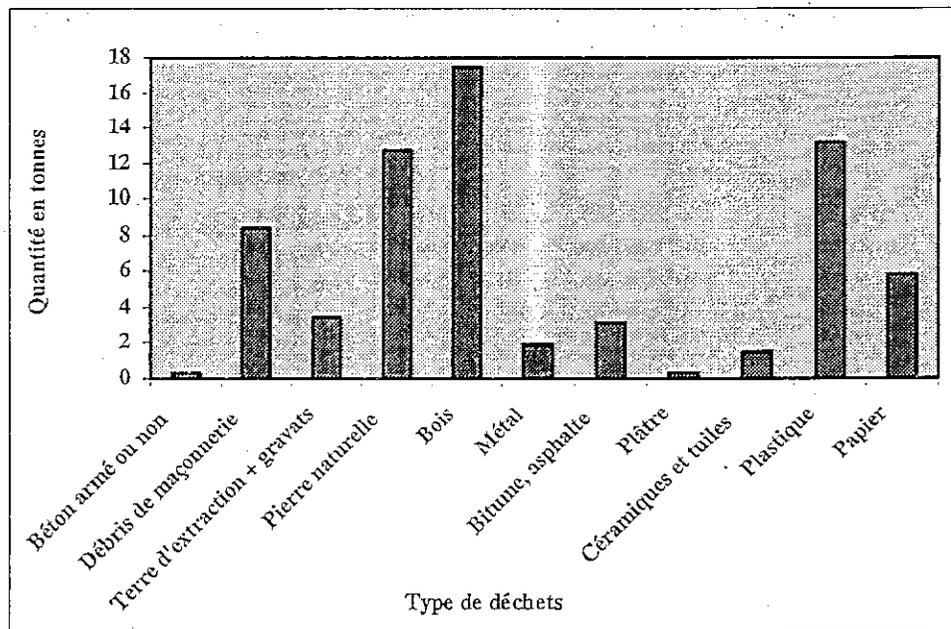


Figure 3.13 Répartition par type de déchets déposés à la décharge de Staoueli (période du 2/07/2000 au 6/07/2000)

D'après notre enquête sur cette décharge, nous pouvons donner ces remarques :

- ❖ Les déchets réceptionnés dans cette décharge ne sont pas triés. Autrement dit cette décharge sert de lieu de stockage de déchets de construction et de démolition.
- ❖ 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 et de démolition, bien que cet axe est au stade de réflexion. L'entreprise ASROUT, qui gère cette décharge est à la recherche de solution technico-économique lui permettant de bien exploiter et valoriser ces déchets.
- ❖ Durant cette enquête, les producteurs des déchets étaient généralement des opérateurs publics et quelques particuliers privés.

Un autre contrôle de la décharge a été effectué durant le mois de novembre 2000 dont les résultats récapitulatifs sont rassemblés dans le tableau 3.8.

Types de déchets	Pourcentage par nature de déchets	Production (tonnes)
Béton armé	100	6657
Terre d'extraction + gravats	30	2853
Total des déchets		9510

Tableau 3.8 Quantité des déchets durant le mois de novembre 2000

D'après les résultats trouvés, on constate qu'une quantité très importante de déchets de chantier a été générée dans la décharge de Staoueli durant le mois de novembre. Ceci est du au fait qu'une importante opération de démolition s'est produite dans l'algérois durant ce mois. On remarque que le béton armé représente, à lui seul, la proportion la plus grande d'environ 70 % de la quantité totale. Ceci est du au fait que la majorité des constructions démolis étaient constituées par ce matériau.

5. EXPERIENCES ET RECHERCHES ALGERIENNES DANS LE DOMAINE DE RECYCLAGE DES DECHETS DU BATIMENT

A partir de 1977, le CSTC a mené des recherches, avec l'appui financier de l'IRSIA (Institut Belge pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture) sur le thème de la démolition et du recyclage des éléments de construction en béton. L'expérience acquise par cette recherche a permis au CSTC de proposer aux autorités algériennes d'effectuer une étude sur les possibilités de recyclage des décombres à la suite du tremblement de terre d'El Asnam de 1981 [49]. Vu la grande hâte des premiers secours, directement après le séisme, une partie des décombres situés dans les zones les plus gravement touchées a été entassée et mélangée avec de la terre et de la chaux pour éviter les épidémies. Une partie des débris (débris mixtes) qui ne peut être convertie en matériaux de construction a été servie au renforcement des rives déjà très affouillées de la rivière de Chélif. Le reste des débris ont été transformés par concassage et tamisage en granulats destinés à des blocs de construction. Des blocs de béton ont été fabriqués avec des débris provenant du groupe d'immeubles à appartements N° FG0306A. Il s'agit d'un quartier de 9 immeubles appelés «70 logements économiques» et constitués de 19 bâtiments R+3 dont l'ossature est en béton et la maçonnerie de remplissage en blocs de béton et de briques recouvertes d'un enduit. Après 28 jours, les blocs ont été écrasés au laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment à Alger sous la surveillance des ingénieurs de l'INERBA (CNERIB actuellement) et du CSTC. Cette recherche a montré la possibilité de recycler les débris pour en faire des blocs en béton.

Plusieurs unités privées ont vu le jour dans le territoire du pays, qui, traitent les déchets de terre cuite afin de les transformer en granulats pour fabriquer des éléments de maçonnerie. Durant notre projet, nous avons visité quelques unités spécialisées à fabriquer des blocs de maçonnerie à base de débris de terre cuite issus des briqueteries (voir la photo 4 de l'annexe 1).

D'après notre enquête effectuée dans quelques unités de fabrication, Nous pouvons constater que :

- ❖ La fabrication de ces éléments de maçonnerie se fait de manière sans aucun contrôle de qualité par les autorités locales.
- ❖ Les fabricants emploient généralement des débris de terre cuite issus des briqueteries, il s'agit donc des déchets inertes propres.

Afin de bien gérer ce problème de recycler les déchets de construction et de démolition de manière scientifique et bien organisée, de nombreuses tentatives et expérimentations voient le jour. C'est pourquoi plusieurs recherches et études dans les universités algériennes sont en cours afin de résoudre ce problème qui ne cesse de grandir. Parmi ces études de recherches on peut citer une étude de magister effectuée à l'université de Blida sur la valorisation des déchets de brique et béton de démolition comme agrégats de béton [50]. L'étude a porté sur trois types de bétons recyclés (béton à base de granulats de béton concassé, béton à base de brique de terre cuite concassée et béton de combinaison de brique et béton concassé) balayant ainsi les propriétés physiques et mécaniques d'un béton ordinaire a montré la possibilité de fabriquer un béton à base d'agrégats recyclés cités précédemment de caractéristiques acceptables et de même comparables à celle d'un béton à base de granulats naturels pour vu que le pourcentage de granulats recyclés soit limité à 75% et 50% pour les gros et fin de béton concassé et à 25% et 75% pour eux de la brique concassée respectivement.

Une autre thèse de magister a été réalisée à l'université de Tlemcen sur le recyclage des déchets de construction en voirie[51]. Dans cette étude, trois matériaux ont été utilisés, à savoir les débris de béton, tels que, la dalle et la chape ainsi que les débris de maçonnerie comme le parpaing. Une attention particulière est donnée à la description des mécanismes d'influence de l'eau par l'outil proctor. Cette étude a montré qu'il est possible d'utiliser les granulats recyclés dans la construction routière.

6. APPROCHE ADOPTÉE POUR UNE CONTRIBUTION A L'ETUDE DU PROBLEME DE LA FAISABILITE DU RECYCLAGE EN ALGERIE

Afin de travailler sur la problématique du recyclage dans la construction en Algérie, nous avons choisi d'adopter une approche par étude de cas. Pour ce faire nous allons axer notre étude sur le gisement de déchets de construction qui présente l'intérêt potentiel le plus important en Algérie tant du point de vue économique que technique ou encore scientifique.

Or, il faut savoir qu'en Algérie, les moyens et les techniques de réalisation ont peu évolué et même stagné vers la fin de cette décennie. Le système de préfabrication a été presque totalement abandonné au détriment du système traditionnel, «Poteau-Poutre» avec des murs de remplissage et des cloisons de briques de terre cuite creuse. Aussi les déchets issus des activités de construction, de réhabilitation, de démolition et de production des matériaux de construction contiennent en grande partie des débris de briques et de tuiles de terre cuite. La quantité de ces déchets est aussi importante eu égard au nombre important d'unités de fabrication de produits rouges existantes dans le pays. Il est donc nécessaire de chercher des solutions pour la valorisation des débris de terre cuite comme granulats pour la construction.

Aussi compte tenu du nombre important d'études faites à travers le monde sur le recyclage des débris de béton et les « bétons verts », eu égard à la rareté des travaux sur les déchets de produits rouges, et devant l'importance de ce produit en Algérie, nous avons choisi d'orienter le présent travail sur l'étude des possibilités de valoriser les débris de terre cuite. Pour cela nous nous sommes limités au débris de terre cuite pur sans aucun mélange à d'autres matériaux issus de la démolition. Ceci devrait constituer une première étape avant d'envisager dans d'autres travaux à venir le mélange de plusieurs déchets tels qu'on les rencontre dans les opérations de démolitions où les briques sont mêlées à du plâtre, des mortiers, de la peinture, etc. ...

Ces déchets sélectionnés, vont devoir subir un traitement, qui est le concassage dans notre cas, en vue d'obtenir un nouveau matériau dont il faut étudier, qu'il soit isolé ou combiné avec d'autres matériaux connus, expérimentalement les caractéristiques physico-mécaniques qui lui devront conférer des performances mécaniques et durabilité acceptables dans l'environnement où il est appelé à évoluer. A ce propos, il sera donc mené au laboratoire une série d'essais sur des échantillons de déchets pour lesquels il faut déterminer en premier lieu les caractéristiques intrinsèques (densité, porosité, granularité, friabilité, dureté etc.) du déchet concassé et étudier ensuite l'influence de ce matériau recyclé, lorsque ce dernier est combiné avec d'autres matériaux (liant, eau et autres additifs).

Selon la granularité du déchet recyclé associé à ce mélange, deux types de matériau seront étudiés de manière approfondie. Il s'agira du mortier pour l'utilisation des sables concassés de terre cuite et du micro béton en utilisant les fractions granulométriques 0-3 et 3-8 du même déchet (terre cuite) concassé. Plusieurs compositions paramétriques correspondant à chacun de ces matériaux seront élaborées et testées.

La formulation de chaque composition basée sur les différents paramètres tels que : l'ouvrabilité, le rapport E/C (Eau / Ciment), la résistance souhaitée, le retrait. Parallèlement des compositions «témoins» élaborées à partir des matériaux de référence (gravillons et sables naturels) serviront pour la comparaison des résultats entre les différentes compositions à étudier.

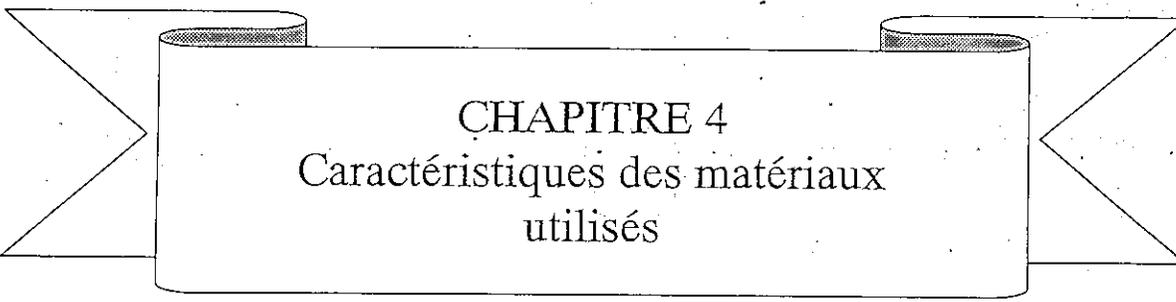
Enfin, des applications de grandeur naturelle, telles que la fabrication de blocs de parpaings pour les bétons recyclés et la mise en œuvre sur murets des enduits à base de mortier recyclé, seront réalisées dans le but de tester la faisabilité de ces matériaux.

7. CONCLUSION

Notre étude montre clairement que les déchets de chantier du bâtiment sont rarement pris en compte aussi bien sur le plan réglementaire et législatif que sur le terrain. Actuellement, on constate qu'il n'existe pas une réflexion locale en vue de planifier la gestion des déchets du bâtiment. Cette situation s'explique par plusieurs facteurs, à savoir :

- ❖ La définition des déchets de chantiers reste floue : ils ne sont pas clairement identifiés par la classification habituelle qui distingue les déchets ménagers ou assimilés, les déchets industriels et les déchets spéciaux.
- ❖ La responsabilité des collectivités locales en matière de collecte et d'élimination des déchets ménagers ne s'étend pas aux déchets de chantiers, alors même qu'ils sont parfois mélangés avec les ordures ménagères. Cependant, que les déchets de chantiers du bâtiment sont essentiellement constitués de matières minérales. Ils sont par conséquent, considérés comme étant des matériaux inertes, donc chimiquement stables. Leur degré de toxicité est insignifiant devant celui des autres déchets, tels que les déchets ménagers ou industriels. Ils sont donc peu nuisibles vis-à-vis du milieu environnemental d'où le caractère non-proprétaire qui leur est réservé.
- ❖ De point de vue de statistique, ces déchets sont sous estimés par le fait uniquement d'admettre que la principale source de ces déchets est la démolition et que cette activité est mal maîtrisée par rapport aux autres pays développés:

L'état des lieux des déchets de chantiers du bâtiment en Algérie a montré l'impact de ces déchets sur l'environnement et l'absence d'une stratégie bien claire sur leur gestion va sûrement dégrader le milieu environnemental. A noter que tous les intervenants de l'acte de construire, sans exception, sont concernés et impliqués dans l'élimination de ces déchets. Les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre, les entreprises et industriels font partie d'une chaîne économique et technique. C'est à l'ensemble de cette chaîne que revient la responsabilité de gérer le traitement et l'élimination de ces déchets. Les collectivités locales sont également responsables à la gestion de ces déchets. Au plus, les habitants doivent être conscients de cette problématique. Il est évidemment nécessaire de mettre en place une véritable gestion des déchets de chantier afin de préserver notre milieu environnemental.



CHAPITRE 4
Caractéristiques des matériaux
utilisés

QUATRIEME CHAPITRE

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

1. INTRODUCTION

En Algérie, les déchets de construction et de démolition restent pour l'heure très peu recyclés. Jusqu'à dans les années 80, l'approvisionnement en sable, en tant que matériau traditionnel utilisé pour la confection des bétons, ne présentent pas de difficultés majeures. Depuis les années 90, les besoins exprimés ont généré une très forte demande sans cesse croissante ayant pour conséquence un épuisement rapide des sablières et des ballastières. Cette situation apparue dans une période de temps relativement court, a posé brutalement le problème de la disponibilité de ce matériau. Le seuil critique a été atteint par une exploitation sauvage des sables de mer causant ainsi un grave préjudice à l'équilibre de l'environnement à proximité des plages. Les prix du sable sont d'ailleurs en hausse constante et occasionnent divers trafics illégaux quant à sa commercialisation.

Dans notre pays la grande majorité des constructions utilisent des structures de type poteaux-poutre avec des murs de remplissage et des cloisons de briques creuses de terre cuite. Aussi les déchets issus de la démolition, de la construction et des activités de production de matériaux de construction contiennent-ils une forte proportion de débris de briques et de tuiles de terre cuite. Bien qu'une expérience menée en coopération avec le Centre Scientifique et Technique de la Construction de Belgique ait déjà eu lieu en 1981 pour récupérer des débris de démolition [49], ceux-ci restent toutefois pratiquement pas recyclés si ce n'est parfois comme matériaux de remblais et plus rarement en granulats pour blocs de maçonnerie. Dans ce dernier cas les producteurs le font de manière empirique sans aucun contrôle ni étude préalable.

Le but principal de notre étude est l'étude de la possibilité de recycler les débris de brique de terre cuite. Plusieurs essais caractéristiques ont été réalisés pour caractériser les granulats obtenus après concassage des briques de terre cuite afin de les comparer aux granulats naturels.

2. MATERIAUX UTILISÉS

2.1 Granulats

Pour le besoin de notre étude, nous avons utilisé deux types de granulats, l'un est naturel et l'autre recyclé. Les granulats recyclés sont obtenus par concassage de débris de briques de terre cuite provenant de la briqueterie d'Al-Achour. Le concassage a été réalisé au moyen d'un concasseur à mâchoires. Après concassage, les granulats ont été criblés afin d'obtenir deux fractions granulaires, le gravillon 3/8 et le sable 0/3. Nous désignerons, dans la suite, les différents granulats utilisés par :

- S_N : sable naturel de mer de Zemmouri (0/3) ;
- S_R : sable recyclé issu du concassage de débris de terre cuite (0/3) ;
- G_N : gravillon naturel de la carrière Jober (3/8) ;
- G_R : gravillon recyclé obtenu par concassage de débris de terre cuite (3/8).

2.2 Ciment

Pour le besoin de notre étude, deux ciments ont été utilisés, à savoir :

- ◆ le ciment CPJ 45 de la cimenterie ERCC de Raïs Hammidou à Alger. Il est livré dans des sacs de 50 Kg ;
- ◆ le ciment CPA de Roumanie. Il est fabriqué par la société Lafarge. Ce ciment est livré dans des sacs de 50 Kg.

Les caractéristiques chimiques et minéralogiques des deux ciments sont déterminées au laboratoire SETIM à Boumerdes. L'analyse chimique a été effectuée conformément à la norme française P 15-472 de mars 1990 [52]. Les tableaux 4.1 et 4.2 regroupent les résultats obtenus.

Composants %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaO libre	P.F	insolubles
CPJ 45	21.64	5.58	2.76	61.34	1.34	0.78	0.22	2.23	0.58	3.7	2.80
CPA de Roumanie	20.56	5.43	2.71	63.12	2.18	1.31	0.31	2.70	1.48	1.23	0.31

Tableau.4.1 Analyse chimique des deux ciments

Composants	C3S	C2S	C3A	C4AF
Ciment CPJ 45	50	30	11	8
CPA de Roumanie	58	24	04	14

Tableau 4.2 Analyse minéralogique des deux ciments

Des résistances à la compression et à la traction ont été effectuées sur des mortiers normalisés, selon la norme française P 15-471 [53]. Le tableau 4.3 récapitule les résultats obtenus.

Ciments	Résistance à la traction (MPa)			Résistance en compression (MPa)		
	2 jours	7 jours	28 jours	2 jours	7 jours	28 jours
CPJ 45	3.61	6.97	8.97	14.55	36.97	50.64
CPA de la Roumanie	5.10	6.75	8.14	28.09	36.81	43.23

Tableau 4.3 Résistances mécaniques

Ces résultats montrent que les deux ciments appartiennent à la classe 45 et cela suivant la classification donnée par la norme française P 15-301 [54]. D'autres caractéristiques ont été déterminées dont les résultats sont regroupés dans le tableau 4.4.

Ciments	Temps de prise (h, mn)		Retrait ($\mu\text{m} / \text{m}$)			Gonflement ($\mu\text{m} / \text{m}$)			Poids spécifique (g / cm^3)	Surface spécifique de Blaine (cm^2 / g)
	Début	Fin	2 j	7 j	28 j	2 j	7 j	28 j		
CPJ 45	2h.23	3h.38	260	520	860	0	40	60	3.11	2997
CPA de la Roumanie	2h.26	3h.46	500	860	1280	40	40	40	3.09	3205

Tableau 4.4 Résultats des essais physiques des deux ciments

Les résultats insérés dans le tableau 4.4 montrent que les deux ciments utilisés vérifient les exigences données dans la norme française P 15-301 [54].

2.3 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents mortiers et des blocs de maçonnerie est une eau potable de robinet sans traitement supplémentaire.

2.4 Adjuvants

Deux superplastifiants ont été utilisés. Ils ont été incorporés dans le mélange après quelques minutes de malaxage. Les superplastifiants en question sont le Medafluid SF et Sikafluid 200 R. Ce sont les adjuvants les plus fréquemment utilisés dans la pratique en Algérie. Ils sont tous les deux réducteurs d'eau.

- ❖ **Medafluid SF** : Le Medafluid SF est fabriqué par la société Granitex, implantée à Qued Smar (Wilaya d'Alger). Il est présenté sous forme liquide, de couleur marron et il est compatible avec tous les types de ciment. Cet adjuvant se dilue facilement dans l'eau de gâchage.
- ❖ **Sikafluid 200 R** : Le Sikafluid est fabriqué par la société Sika. C'est un superplastifiant, il est présenté sous forme d'une solution aqueuse, de couleur marron.

Le tableau 4.5 donne les principales caractéristiques des deux adjuvants.

Adjuvants	Densité	Teneur en chlore (%)	PH
Medafluid SF	1.18 ± 0.01	<0.1	7.5 - 8
Sikafluid 200R	1.15 ± 0.01	< 0.1	5.5 ± 1

Tableau 4.5 Caractéristiques des adjuvants utilisés

D'après les résultats trouvés, on remarque que les deux adjuvants ont des caractéristiques comparables.

3. ESSAIS EFFECTUES SUR LES MATERAIUX

Une série d'essais a été effectuée sur les matériaux afin de les caractériser et pour faire la comparaison entre les granulats recyclés (sable et gravillon) et les granulats naturels (sable et gravillon). Le tableau 4.6 montre les différents essais effectués ainsi que la norme correspondante à chaque essai. Ces essais vont nous renseigner sur la qualité des granulats et sur la possibilité d'utiliser ces granulats dans la construction du bâtiment.

Travaux, essais ou analyses	Norme	S _N 0/3	S _R 0/3	G _N 3/8	G _R 3/8
Echantillonnage	NF P 18-553 Sept. 90	X	X	X	X
Densité et absorption	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		
Analyse chimique	Mode opératoire	X	X		
Densité et absorption	NF P 18-554 Déc. 90			X	X
Propreté	NF P 18-591 Sept. 90			X	X
Analyse granulométrique	NF P 18-560 Sept 90			X	X
Los Angeles	NF P 18-573 Déc. 90			X	X
Analyse chimique	Mode opératoire			X	X

Tableau 4.6 Essais effectués sur les matériaux utilisés

La lettre «X» nous indique que l'essai en question a été réalisé

3.1 Essais effectués sur les sables

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

3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique par tamisage a été effectuée séparément pour les parties grossières et fines. L'analyse permet de déterminer la distribution en poids des particules d'un sable suivant leurs dimensions et de nous renseigner sur le pourcentage d'éléments inférieurs à 80 microns. L'essai est effectué conformément à la norme française P 18-560 [55]. Le résultat de cette analyse est représenté sous la forme d'une courbe. La granulométrie des deux sables naturel et recyclé est présentée à la figure 4.1.

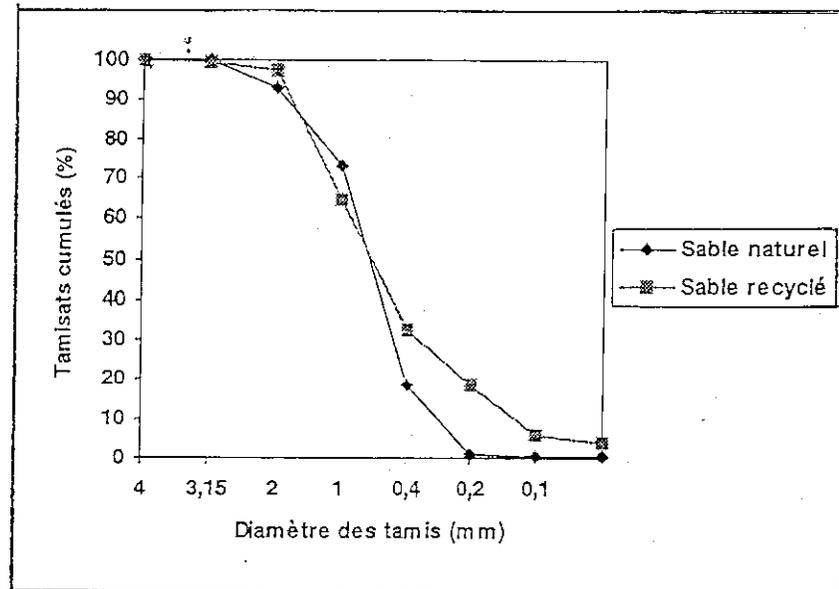


Figure 4.1 Distribution granulométrique des deux sables

La courbe 4.1 montre que les deux sables sont assez proches. Néanmoins, le sable recyclé contient plus de fines de diamètre inférieur à 0.4 mm. D'après plusieurs chercheurs [56], le pourcentage des éléments fins (<75 μm) dans les sables recyclés est de l'ordre de 4 à 6.6 %. Pour notre cas, le sable recyclé comporte une quantité de fines de diamètre inférieur à 80 μm égale à 4% comparant à celle de sable naturel qui est de l'ordre du 0.5%. Ceci est principalement dû, au fait d'une part, que le sable recyclé est obtenu par concassage de la brique de terre cuite qui est plutôt friable et donc cela a engendré une quantité de fines assez importante. Le coefficient de friabilité des deux sables naturel et recyclé a été déterminé selon la norme française P 18-576 [57]. Ce coefficient est égal à 20 % pour le sable recyclé issu du concassage de débris de terre cuite et de 18 % pour le sable naturel. D'une manière générale, on constate que le sable recyclé est un bon sable du point de vue de sa granulométrie qui est très proche de celle du sable naturel.

3.1.2 Module de finesse

Le module de finesse est un coefficient servant à caractériser la grosseur d'un sable pour béton. Un sable grossier est représenté par un coefficient élevé ($2.8 < M_f < 3.2$), un sable fin par un coefficient plus faible ($1.8 < M_f < 2.2$) et un sable moyen par $2.2 < M_f < 2.3$ qui est préférentielle pour la confection des bétons. Ce module est défini comme étant égal au centième de la somme des refus cumulés aux tamis : 0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, et 5 mm. C'est une caractéristique intéressante car elle permet le calcul rapide de la correction d'un sable mais reste, à elle seule, insuffisante pour apprécier la qualité globale d'un sable à béton. Elle constitue cependant, parmi d'autres, une indication très précieuse à condition de la rattacher à un tracé granulométrique. Les modules de finesse sont de 2.75 et 2.36 respectivement pour le sable naturel et le sable recyclé. Les deux sables sont des sables moyens et ils sont acceptables pour la confection des bétons hydrauliques. On constate, donc encore une fois que le sable recyclé est tout à fait conforme du point de vue granulométrique pour une utilisation en béton ou en mortier.

3.1.3 Masses volumiques

La mesure des masses volumiques réelles des deux sables a été effectuée conformément à la norme française P 18-555 [58]. La mesure de la masse volumique apparente des deux sables a été déterminée selon la méthode de l'entonnoir. Les masses volumiques des deux sables ont été effectuées par la méthode de la mesure au pycnomètre. Les différents résultats trouvés sont récapitulés dans le tableau 4.7.

	Masse volumique réelle t/m^3	Masse volumique absolue t/m^3	Masse volumique apparente t/m^3
S_N	2.65	2.68	1.5
S_R	2.14	2.23	1.05

Tableau 4.7. Masses volumiques des deux sables

D'après les résultats mentionnés dans le tableau 4.7, on constate que les masses volumiques du sable recyclé sont nettement plus faibles que celles du sable naturel. Ainsi avec une masse volumique apparente de $1.05 t/m^3$ il s'avère moins lourd de près d'un tiers. La relative faiblesse de l'écart existant entre les masses volumiques absolues des deux sables nous permet de dire que cette légèreté est due principalement à la porosité très élevée des grains de terre cuite. Ces résultats sont d'ailleurs confirmés par d'autres chercheurs [30, 56], qui montrent que la masse volumique d'un sable recyclé est généralement inférieure à celle d'un sable naturel.

3.1.4 Absorption d'eau

L'essai d'absorption d'eau est effectué conformément à la norme française P 18-555 [58]. Pour cela, un échantillon de sable est plongé dans l'eau pendant 24 heures à 20° 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. Les résultats de cet essai sont mentionnés dans le tableau 4.8.

Type du sable	Coefficient d'absorption d'eau %
S_N	0.13
S_R	5.8

Tableau 4.8 Coefficient d'absorption d'eau des deux sables

Le coefficient d'absorption d'eau reflète le besoin en cas nécessaire pour répondre au phénomène de succion et de sorption des pores des grains – Ceci influe directement sur les mécanismes de prise et durcissement – La connaissance du coefficient d'absorption permettra donc d'expliquer les variations des vitesses de prise et de durcissement des mortiers et béton. Dans le cas présent, on s'aperçoit que le sable recyclé a un coefficient d'absorption de près 45 fois supérieure à celui d'un sable naturel – Ceci montre la grande porosité des grains de terre cuite, et dans le sable recyclé s'avère être très hydrophile. On peut donc présager qu'il faudra de grosses quantités d'eau pour confectionner des bétons et mortiers à base de sable de recyclage.

3.1.5 Compacité et porosité

La porosité est définie comme le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon. La compacité est le volume plein du matériau sur le volume apparent. On peut dire que la porosité représente le complément à l'unité de la compacité. Notons que les différents volumes ont été déterminés à partir des masses volumiques données dans le tableau 4.7 selon la norme NF P 18-555 [58]. Le tableau 4.9 donne les résultats trouvés pour les deux sables.

	S_R	S_N
Compacité (%)	47.09	55.97
Porosité (%)	52.91	44.03

Tableau 4.9 Compacité et porosité des deux sables

La diminution de la compacité du sable recyclé par rapport au sable naturel est de l'ordre de 16%. Le sable recyclé est peu compact et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au sable naturel. Ceci confirme nos commentaires relatifs au coefficient d'absorption d'eau.

3.1.6 Equivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable a pour objet d'évaluer la quantité de fines argileuses et de poussières contenues dans les sols fins. Il permet donc de mesurer la propreté d'un sable. Il est réalisé conformément à la norme NF P 18 – 598 [59]. 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. Le tableau 4.10 regroupe les résultats trouvés pour les deux sables.

	S_N	S_R	Critère de la norme
Equivalent de sable	97.94	88.22	≥ 70 (65 et 60 pour les sables concassés et broyés)

Tableau 4.10 Equivalent de sable des deux sables

D'après le tableau 4.10 les deux sables sont propres car leur équivalent de sable est conforme à la limite donnée par la norme NF P 18-598 [59]. Donc les deux sables sont acceptables pour la confection des bétons hydrauliques.

3.1.7 Analyse chimique

L'analyse chimique sommaire des deux sables a été réalisée au laboratoire central des travaux publics. (LTPC). Les résultats de cette analyse ont été regroupés dans le tableau 4.11

COMPOSITION	Constituants	Sables	
		S _N	S _R
	Silice SiO ₂	74.48	56
	Oxyde de fer FeO ₃	6.80	7.52
	Oxide d'Aluminium Al ₂ O ₃	4.70	12.48
	Gypse (CaSO ₄ , 2H ₂ O)	Traces	-
	Anhydride sulfurique SO ₃	Traces	1.28
	Magnésie MgO	1.81	3.15
	Chaux Cao	7.00	18.76
	Carbonate de chaux CaCO ₃	6.77	5.08
	Chlorure NaCl	0.59	0.12
	Anhydride carbonique CO ₂	2.98	2.23
	eau constituant	0.66	-
	Perte au feu	3.64	2.26
	Insolubles	85	69
Bilan chimique		99.02	100.29

Tableau 4.11 Analyse chimique sommaire des deux sables

L'analyse chimique des deux sables montre que le sable naturel est constitué essentiellement de la silice avec un pourcentage de 75% comparé au sable recyclé, il contient 56% de la silice, ce sable contient plus de d'anhydrite de sulfurique.

3.2 Essais effectués sur les gravillons

Les gravillons recyclés et naturels de granularité 3/8 sont utilisés pour la confection des blocs de maçonnerie. Plusieurs essais caractéristiques ont été effectués sur les deux types de gravillons, afin de les identifier et de déterminer leur qualité.

3.2.1 Analyse granulométrique par tamisage

L'analyse granulométrique a été effectuée sur les deux gravillons suivant la norme française P 18-560 [55]. La figure 4.2 présente les résultats de l'analyse granulométrique des deux gravillons.

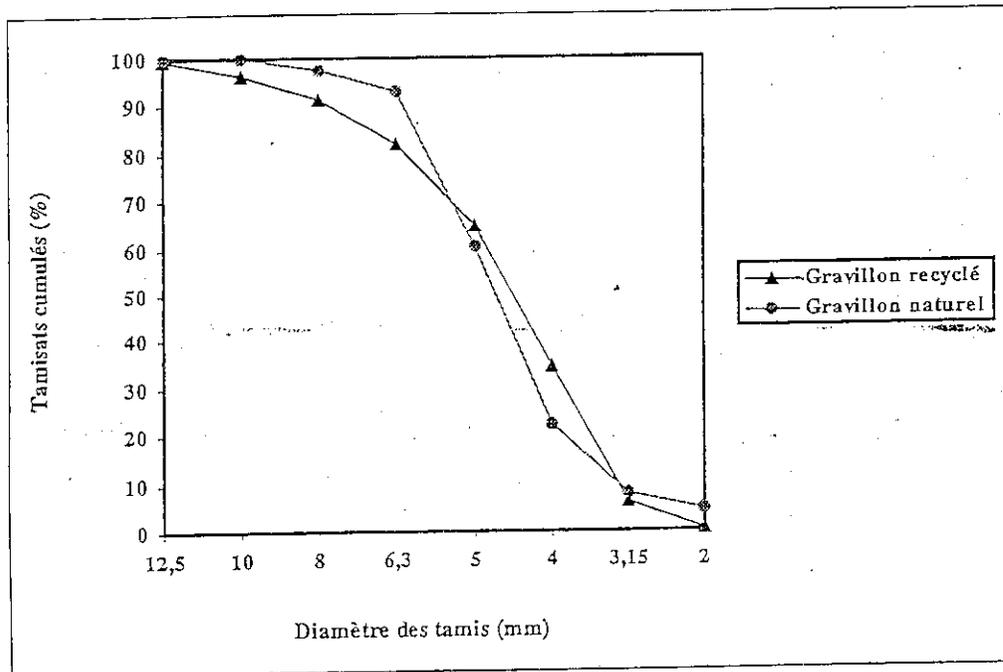


Figure 4.2 Distribution granulométrique des deux gravillons

3.2.2 Masses volumiques

Les masses volumiques réelles des deux gravillons sont déterminées conformément à la norme française P 18-554 [60], spécifique aux gros granulats. Tandis que les masses volumiques apparentes et réelles ont été déterminées selon les modes opératoires. Les différents résultats sont représentés dans le tableau 4.12

Gravillon	Masse volumique réelle t/m^3	Masse volumique absolue t/m^3	Masse volumique apparente t/m^3
G_N 3/8	2.54	2.63	1.36
G_R 3/8	1.87	2.25	1.06

Tableau 4.12 Masses volumiques des deux gravillons

La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel). Cette caractéristique est liée à la compacité du matériau. Il paraît que le gravillon 3/8 issu du concassage de la brique de terre cuite est léger par rapport au gravillon naturel. Cette légèreté est due principalement à la porosité des briques de terre cuite. Car l'écart sur les masses volumiques absolues est moins important par rapport à ceux des masses volumiques réelles et apparentes.

3.2.3 Absorption d'eau

L'essai d'absorption d'eau est effectué conformément à la norme française P 18-554 [60]. Un échantillon de gravillon est plongé dans l'eau pendant 24 heures à 20° 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. Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau 4.13

	G_N	G_R
Coefficient d'absorption d'eau %	0.4	14

Tableau 4.13 Coefficient d'absorption d'eau des deux gravillons

La valeur d'absorption d'eau du granulat de brique est 35 fois supérieure à celle du granulat naturel. Ceci peut s'expliquer par sa plus grande porosité comme le montrait l'écart dans ces masses volumiques. Encore une fois, le granulat issu de terre cuite s'avère très hydrophile.

3.2.4 Propreté (impureté)

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieures à 0,5 mm (ou 1,6mm pour les ballastes), mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieurs à 2mm. L'essai est effectué selon la norme française P 18-591 [61]. En général, la propreté est la détermination de pourcentage de vase, de limon, d'argile et de matières solubles et non pas les impuretés telles que le mica, le gypse, le charbon, les bouts de bois, et autres impuretés. Les résultats de cet essai sont donnés dans le tableau 4.14.

Type du gravillon	Pourcentage d'impureté (%)
G _N	2.79
G _R	14

Tableau 4.14 Pourcentage d'impureté des deux gravillons

Pour le gravillon naturel, les impuretés sont en général un mélange de poussière, de petites particules d'argiles et des insolubles. Tandis que pour le gravillon recyclé, les impuretés sont la poussière due au concassage de la brique en provenant des granulats durant le stockage ou le transport car il s'agit d'un matériau plus friable. Toutefois, le pourcentage d'impuretés reste acceptable. Sachant que ces poussières ne sont pas réellement des impuretés.

3.2.5 Résistance mécanique. Essai Los Angeles

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant le granulat aux chocs de boules normalisées dans la machine Los Angeles conformément à la norme NF P 18-573 [62]. Cette dernière stipule la valeur spécifique limite de 40 % à ne pas dépasser. L'essai sert à évaluer la ténacité et la fragilité du matériau. Les résultats de cet essai sont consignés dans le tableau 4.14.

Type du gravillon	Los Angeles (%)
G _N	28
G _R	30

Tableau 4.15 Résistance mécanique Los Angeles des deux gravillons

Les résultats mentionnés dans le tableau 4.15 montrent une chute de résistance d'environ de 7% par rapport aux granulats naturels. Ces résultats sont confirmés par d'autres chercheurs [30, 56], qui montrent que le Los-Angeles des agrégats recyclés est généralement inférieur à celui des agrégats naturels. Pour notre cas, cette différence peut s'expliquer par le fait que les granulats recyclés sont plutôt friables. Toutefois les valeurs données par l'essai Los-Angeles restent dans les limites acceptables pour la confection du béton.

3.2.6 Analyse chimique

L'analyse chimique sommaire du gravillon naturel a été réalisée au sein du CTPP. Les résultats sont regroupés dans le tableau 4.16.

COMPOSITION	Constituants	Gravillon	
		G _N	G _R
	Silice SiO ₂	traces	56
	Oxyde de fer FeO ₃	-	7.52
	Oxide d'Aluminium Al ₂ O ₃	-	12.48
	Gypse (CaSO ₄ , 2H ₂ O)	traces	-
	Anhydride sulfurique SO ₃	-	1.28
	Magnésie MgO	-	3.15
	Chaux CaO	-	18.76
	Carbonate de chaux CaCO ₃	74	5.08
	Chlorure NaCl	néant	0.12
	Anhydride carbonique CO ₂	-	2.23
	eau constituant	-	-
	Perte au feu	-	2.26
	Insolubles	22	69
Bilan chimique		96.00	100.29

Tableau 4.16 Analyse chimique sommaire des deux gravillons

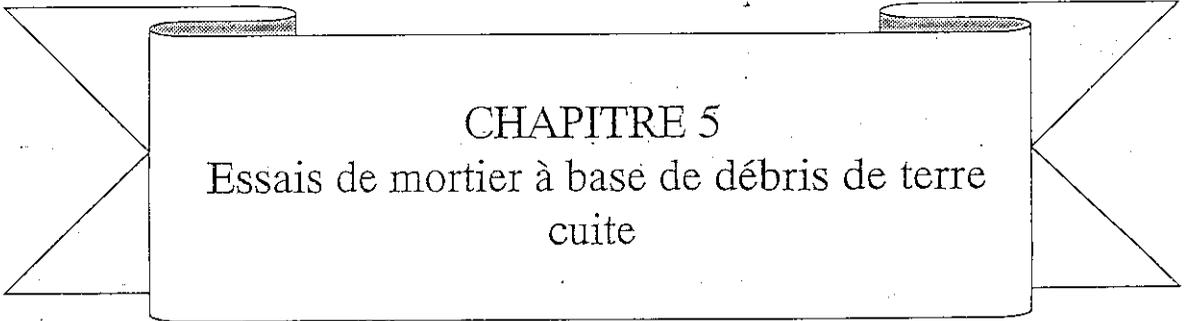
Notons que l'analyse chimique du gravillon recyclé a été la même que celle du sable recyclé puisqu'il s'agit des mêmes débris de briques. On constate que le granulat naturel est de nature calcaire tandis que celui recyclé est plutôt siliceux.

4. CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré pour caractériser et classer les granulats recyclés issus du concassage de la brique de terre cuite, en faisant une comparaison avec les granulats naturels. A cet effet, nous nous sommes basés sur la classification utilisée pour les granulats naturels. C'est la classification de la norme française XP P 18-540 de 1997 [63]. Cette classification s'opère en fonction de certaines caractéristiques intrinsèques des granulats. Selon cette norme, un granulats est considéré léger lorsque sa masse volumique réelle est inférieure à 2 t/m^3 et il est dit recyclé lorsqu'il provient de la démolition d'ouvrage ou lorsqu'il est réutilisé. Le gravillon 3/8 issu du concassage de la brique de terre cuite de masse volumique réelle de 1.87 t/m^3 est classé comme étant un granulats léger, tandis que le sable recyclé de masse volumique réelle de 2.14 t/m^3 est classé comme un sable courant.

D'après cette norme, un granulats utilisé pour confectionner un béton hydraulique est désigné par la catégorie A, B, C ou D. L'appartenance à une catégorie nécessite de satisfaire simultanément à toutes les conditions de cette catégorie. Si on considère le paramètre d'absorption d'eau, on peut dire que le sable recyclé entre dans la catégorie C qui exige une valeur limite supérieure à 6 %, tandis que le gravillon recyclé entre dans la catégorie D qui n'exige aucune limite. En se basant sur ce paramètre, le sable naturel et le gravillon naturel entrent dans la catégorie A où la valeur limite supérieure de l'absorption d'eau est fixée à 2.5 %. Pour le coefficient Los Angeles, le gravillon recyclé entre dans la catégorie A où le Los Angeles est fixe à 30, tandis que le gravillon naturel entre dans la catégorie B ou C qui fixe une limite supérieure de 40.

Selon la classification proposée par la RILEM [29] et qu'elle est ainsi définie dans le paragraphe 5.1 du chapitre 2 (voir le tableau 2.2 du chapitre 2), notre gravillon recyclé peut être classé comme étant un agrégat de type I puisqu'il est issu du concassage de la brique de terre cuite et cette dernière est considérée comme un élément de maçonnerie. D'après le tableau 2.2, on constate que le coefficient d'absorption d'eau du gravillon recyclé est acceptable puisqu'il est inférieur à la valeur maximale exigée par la classification de la RILEM qui est égale à 15 %. D'autre part, vu que notre gravillon recyclé est un matériau propre non mélangé avec d'autres substances. On ne peut pas prendre en considération les limites mentionnées dans le tableau 2.2 et faire la comparaison.



CHAPITRE 5

Essais de mortier à base de débris de terre
cuite

CINQUIEME CHAPITRE

ESSAIS DE MORTIERS A BASE D'UN SABLE DE DEBRIS DE TERRE CUITE

1. INTRODUCTION

Le sable est le composant principal du mortier puisqu'il constitue son squelette. L'objectif de ce chapitre est de présenter notre travail sur l'utilisation de la fraction granulométrique 0/3 issue du concassage de débris de briques et tuiles de terre cuite comme un sable dans la confection de mortiers. Pour ce faire, nous avons adopté un programme d'essais sur des éprouvettes 4x4x16 cm. de mortier confectionnées à cet effet et pour lesquelles nous avons fait varier plusieurs paramètres.

❖ Ainsi, dans une première étape, nous nous sommes intéressés à l'utilisation du sable de débris de terre cuite concassés pour la confection de mortiers à différents dosages de ciment (250, 300, 350 et 400 kg par mètre cube de sable sec), pour chaque dosage en ciment nous avons réalisé quatre dosages en eau de façon à avoir différentes maniabilités. De nombreux essais ont été effectués, sur :

- Les propriétés rhéologiques du mortier frais.
- Les résistances à la compression et à la traction par flexion après cure dans l'eau à 7 et 28 jours pour tous les dosages et à 90 jours pour certains mélanges.
- La masse volumique aux diverses échéances.
- En outre, pour mettre en évidence l'influence de l'atmosphère de conservation, quelques mélanges ont été maintenus en ambiance contrôlée à l'air libre dans une armoire de conservation à 20°C de température et à 65% d'humidité relative. Pour ces éprouvettes on a procédé aux essais suivant :

- ✓ Mesure de la masse volumique apparente.
- ✓ Résistance en compression.
- ✓ Résistance à la traction par flexion.

❖ Dans une deuxième partie, nous avons fixé le dosage en ciment à 400 kg par mètre cube de sable sec. Pour ce dosage nous avons étudié la possibilité de faire des ajouts pour améliorer notre sable :

- Des mortiers ont été confectionnés avec des mélanges dans plusieurs proportions de sable de mer et de sable de terre cuite, en maintenant le rapport Eau/Ciment égal à 0,75. Ceci correspond à un mortier plastique en n'utilisant que du sable de mer. Ces mélanges ont fait l'objet d'une série d'expérimentations au cours desquelles plusieurs caractéristiques ont été mesurées :
 - ✓ les propriétés rhéologiques,
 - ✓ les caractéristiques mécaniques (résistance en compression et résistance de traction par flexion).
 - ✓ Les propriétés physiques, telles que :
 - Le retrait.
 - L'absorption d'eau par capillarité.
 - La masse volumique aux diverses échéances
- Nous avons étudié l'influence de deux adjuvants sur la fluidité, la résistance mécanique et la masse volumique des mortiers à base de sable de brique de terre cuite. Les essais sont effectués sur des éprouvettes conservées dans l'eau.

Notons que le ciment utilisé dans la première partie (étude du mortier avec un sable de débris de terre cuite pur) était du CPJ 45 ERCC de Raïs Hammidou, alors que dans la seconde partie (essais sur mortier de sable de terre cuite avec ajouts) nous avons employé un CPA 32,5 Lafarge de Roumanie. Ce changement est dû au fait que la cimenterie de Raïs Hammidou était à l'arrêt à cause des dégâts occasionnés par les intempéries du 10 novembre 2001. Le ciment Lafarge était alors le seul produit disponible sur la région d'Alger à donner des résistances mécaniques équivalentes à celles du ciment utilisé en première partie.

2. PROCEDURES D'ESSAIS SUR MORTIER

2.1 Equipements

En laboratoire, les mortiers ont été réalisés à l'aide d'un équipement standard, ces équipements sont décrits de manière détaillée par la norme EN 196-1 [64].

❖ Malaxeur

Le mortier a été préparé dans un malaxeur de 5 litres. Il comporte une palette arrivée d'un mouvement planétaire susceptible de fonctionner à deux vitesses (dites lente et rapide) : 140 et 285 tr/mn.

❖ Table à chocs

La table à choc est apte à recevoir trois éprouvettes prismatiques de mortier de 4x4x16 cm. L'appareil permettant d'appliquer 60 chocs aux moules en les faisant chuter d'une hauteur de 15 mm \pm 0.3 mm à la fréquence d'une chute par seconde pendant 60 s.

❖ Moules :

Des moules normalisés ont été utilisés. Ces moules servent au moulage de 3 éprouvettes prismatiques de mortier de section carrée 4 cm x 4 cm et de longueur 16 cm. Ils sont fabriqués avec précision et sont entièrement démontables. Ces moules sont fabriqués en acier étiré usiné.

❖ Maniabilimètre LCPC:

Pour mesurer la maniabilité des mortiers nous avons utilisé le maniabilimètre LCPC, conformément à la norme française NF P 15-437 [65]. A noter que l'appareil de mesure est conforme à la version B de la norme française NF P 18-452 [66]. Cet appareil consiste à apprécier la consistance du mortier qui est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide.

2.2 Confection du mortier

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

2.3 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.

2.4 Essai de résistance à la traction par flexion

L'essai permet de déterminer la contrainte de traction d'un mortier. Il est mené conformément à la norme européenne EN 196-1 [61]. 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 :

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

L : Distance entraxe des rouleaux d'appui de l'éprouvette 4 x 4 x 16 cm en mm (L = 100 mm).

R_t : Résistance à la traction en MPa.

F_t : Charge à la rupture en N.

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

Dans notre étude la valeur de la résistance à la traction par flexion est directement lue en N/cm^2 sur une réglette graduée placée sur le bras de la machine de flexion.

2.5 Essai de résistance à la compression

L'essai consiste à comprimer jusqu'à écrasement un échantillon du matériau étudié. Il est mené conformément à la norme EN 196-1 [64]. Il s'effectue à la suite de l'essai de traction par flexion et porte par conséquent sur les deux morceaux obtenus après rupture d'une éprouvette. Cet essai est réalisé sur une presse hydraulique permettant d'appliquer des charges jusqu'à 150 KN avec une vitesse de mise en charge de $2400 N/s \pm 200 N/s$. L'échantillon est placé au milieu du plateau de la presse. La surface de contact entre l'éprouvette et le plateau de compression est de $16 cm^2 (4 \times 4 cm^2)$. L'augmentation de la charge se fait automatiquement et la force de rupture est indiquée en KN par une aiguille supplémentaire qu'on doit remettre à zéro après chaque essai. La résistance à la compression est donnée par la relation suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \cdot N/mm^2$$

Avec :

R_c : Résistance à la compression (en Mpa).

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

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

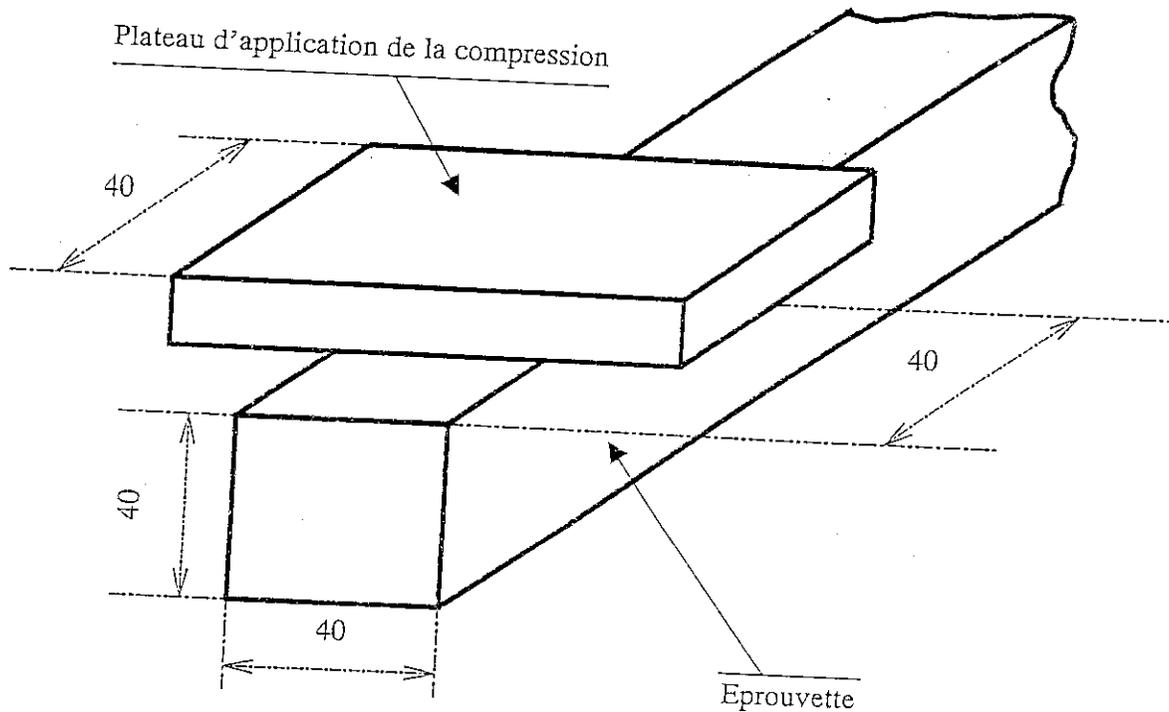


Figure 5.1 Dispositif de l'écrasement à la compression

2.6 Essai d'absorption capillaire

La capacité d'absorption d'eau d'un mortier donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides et donc des pores. C'est aussi une manière comme une autre de mettre en évidence la compacité du mortier durci. L'essai d'absorption capillaire est réalisé conformément à la norme EN 480-5 [67]. 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.

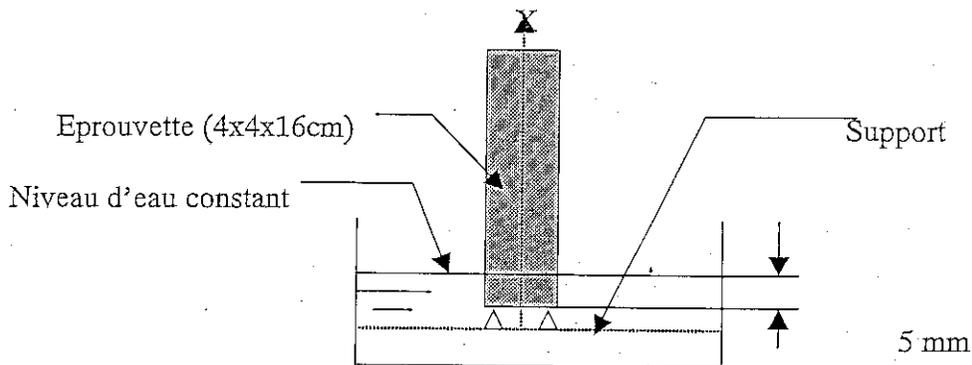


Figure 5.2 Dispositif expérimental de l'essai d'absorption capillaire

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 :

$$CA = \frac{M_j - M_0}{S}$$

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

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

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

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

2.7 Mesure du retrait

Dans certaines conditions de fabrication, d'emploi et de conservations, les mortiers peuvent subir une diminution du volume apparent, appelé retrait, qui est susceptible de produire des fissurations plus ou moins importantes. Ces fissures dues au retrait peuvent, selon leurs dimensions, influencer sur la stabilité de la construction ; et, si elles sont assez profondes, diminuer l'étanchéité des massifs où elles se produisent.

L'essai de retrait est réalisé conformément à la norme NF P15-433 [68]. Il consiste à mesurer en fonction du temps, la variation de longueur d'une éprouvette 4x4x16 cm, par rapport à sa longueur d'origine. Les éprouvettes sont conservées après démoulage dans une salle dont la température est maintenue à 20°C ± 2°C et l'humidité relative à 50 % ± 5%.

Les mesures de retrait sont généralement effectuées sur 3 éprouvettes aux échéances suivantes :

- Au démoulage, mesure d'origine des variations.
- A 3, 7 et 28 jours après la confection des éprouvettes.

Dans notre travail, nous avons continué la mesure de retrait jusqu'à 90 jours. Pour chaque éprouvette et à chaque échéance sont calculés les rapports :

$$\frac{\Delta L}{L} \times 10^6$$

ΔL : Variation de longueur par rapport à la longueur d'origine.
 L : Longueur de base prise égale à 160 mm.

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS : CARACTERISATION DES MORTIERS

3.1 Etude du mortier à base de sable recyclé sans ajouts

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à l'étude d'un mortier confectionné à partir d'un sable issu uniquement du concassage de la brique de terre cuite (sable recyclé). Ce sable a été utilisé sec sans prémouillage préalable. Un ciment CPJ 45 de Raïs Hammidou a été utilisé pour confectionner des éprouvettes 4x4x16 cm de mortier. Quatre dosages en ciment ont été fixés : 250, 300, 350 et 400 Kg/m³ de sable sec. A chaque dosage en ciment, nous avons choisi quatre dosages en eau de telle sorte que l'on fasse varier le rapport eau/ciment (E/C) afin d'étudier des mortiers de différentes maniabilités (mortier ferme et mortier plastique). Seize mélanges ont été préparés et plusieurs éprouvettes 4x4x16 cm ont été fabriquées afin de pouvoir effectuer les essais mécaniques aux diverses échéances. Plusieurs paramètres ont été mis en évidence afin de montrer le comportement du mortier à base du sable recyclé de terre cuite. Pour ces essais toutes les éprouvettes ont été conservées dans l'eau.

Dans un second temps nous avons aussi étudié l'influence du milieu de conservation. Pour cela nous avons pris en compte deux types de mortiers de maniabilités différentes pour chaque dosage en ciment : le premier est un mortier plastique et le deuxième le mortier qui a donné les meilleures résistances lors des essais effectués auparavant avec cure à l'eau (E/C optimal). A noter que pour le dosage en ciment de 250 Kg/m³, nous avons pris un seul mortier qui correspond à la fois au mortier plastique et au mortier le plus résistant.

3.1.1 Etude de la maniabilité du mortier frais

Le tableau 5.1 donne les résultats de la maniabilité (le temps d'écoulement au maniabilimètre LCPC) des différents mélanges ainsi préparés. Dans la figure 5.3, on présentera l'évolution de la maniabilité des mortiers en fonction du rapport E/C.

Mortier	E/C	0,90	0,95	1,00	1,05
400 Kg/m ³	Maniabilité (s)	90	60	35	12
Mortier	E/C	1,00	1,03	1,09	1,14
350 Kg/m ³	Maniabilité (s)	180	60	30	13
Mortier	E/C	1,00	1,20	1,27	1,33
300 Kg/m ³	Maniabilité (s)	240	35	25	13
Mortier	E/C	1,20	1,40	1,52	1,60
250 Kg/m ³	Maniabilité (s)	240	40	17	10

Tableau 5.1 Maniabilité des différents mortiers préparés

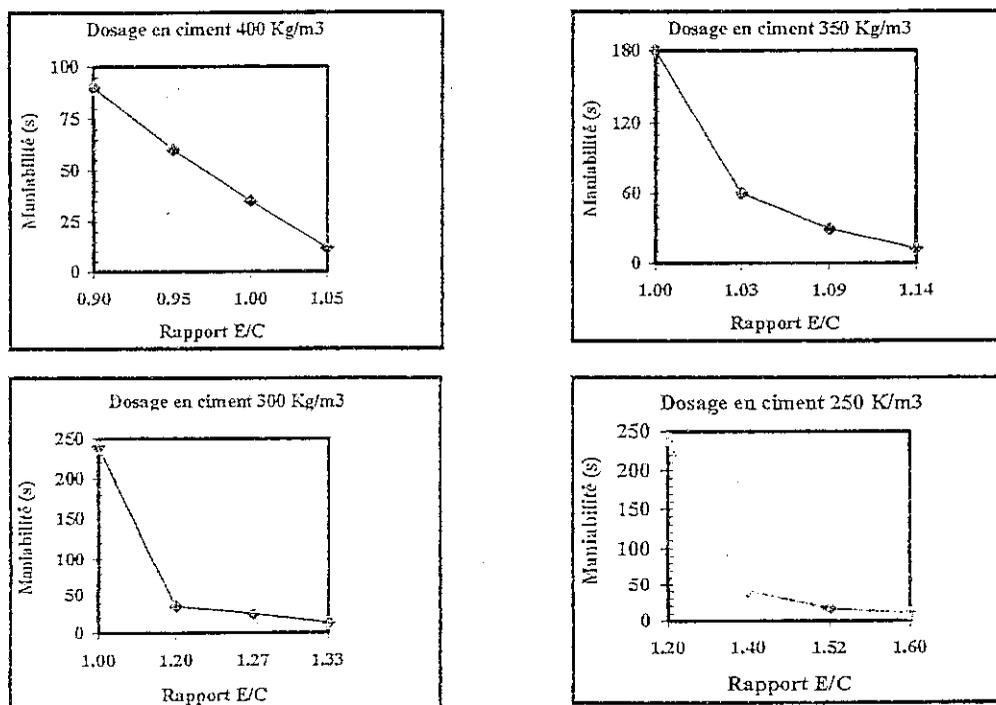


Figure 5.3 Evolution de la maniabilité pour chaque dosage en ciment en fonction du rapport E/C

D'après les résultats regroupés dans le tableau 5.1 et la figure 5.3, on constate que les rapports E/C sont beaucoup plus élevés que pour des mortiers ordinaires, car le sable recyclé de terre cuite a tendance à absorber une quantité très importante d'eau du fait de sa porosité. En effet, le coefficient d'absorption du sable de terre cuite présenté au chapitre 4 est beaucoup plus élevé que celui d'un sable ordinaire

De plus, on s'aperçoit que le besoin en eau du mélange à base de sable de terre cuite est d'autant plus élevé que le dosage en ciment est faible. Ceci s'explique par le fait que les grains du sable recyclé étant très gourmands en eau, moins il y a de ciment et plus la concentration en grains de terre cuite augmente et donc plus le mélange est hydrophile.

Aussi l'obtention d'une meilleure maniabilité nécessite une quantité assez élevée d'eau de telle sorte que les rapports E/C les plus acceptables sont tous supérieurs à 1 et peuvent atteindre la valeur 1.60. Dans ce cas, le mortier est plastique. Le malaxage et la mise en moule sont alors aussi faciles que pour un mortier ordinaire.

3.1.2 La Masse Volumique Apparente

Des mesures de masse volumique apparente ont été réalisées au démoulage à 24 h et pour chaque âge correspondant aux échéances d'écrasement des éprouvettes de mortier. Les valeurs moyennes des masses volumiques pour les différents mortiers envisagés sont mentionnées dans le tableau 5.2.

Dosage en ciment Kg/m ³	Notation	Rapport E/C	Masse volumique apparente (t/m ³)	
			7 j	28 j
400	M _{A1}	0.90	1.90	1.94
	M _{A2}	0.95	1.91	1.96
	M _{A3}	1	1.91	1.99
	M _{A4}	1.05	1.93	1.98
350	M _{B1}	1	1.80	1.85
	M _{B2}	1.03	1.85	1.88
	M _{B3}	1.09	1.91	1.98
	M _{B4}	1.14	1.92	1.94
300	M _{C1}	1	1.65	1.67
	M _{C2}	1.2	1.80	1.83
	M _{C3}	1.27	1.85	1.88
	M _{C4}	1.33	1.88	1.90
250	M _{D1}	1.20	1.60	1.64
	M _{D2}	1.40	1.70	1.72
	M _{D3}	1.52	1.83	1.84
	M _{D4}	1.60	1.87	1.88

Tableau 5.2 Masses volumiques apparentes des mortiers de sable recyclé

3.1.2.1 Evolution de la masse volumique apparente dans le temps

La figure 5.4 illustre l'évolution des masses volumiques apparentes pour les quatre dosages en ciments et pour différents âges.

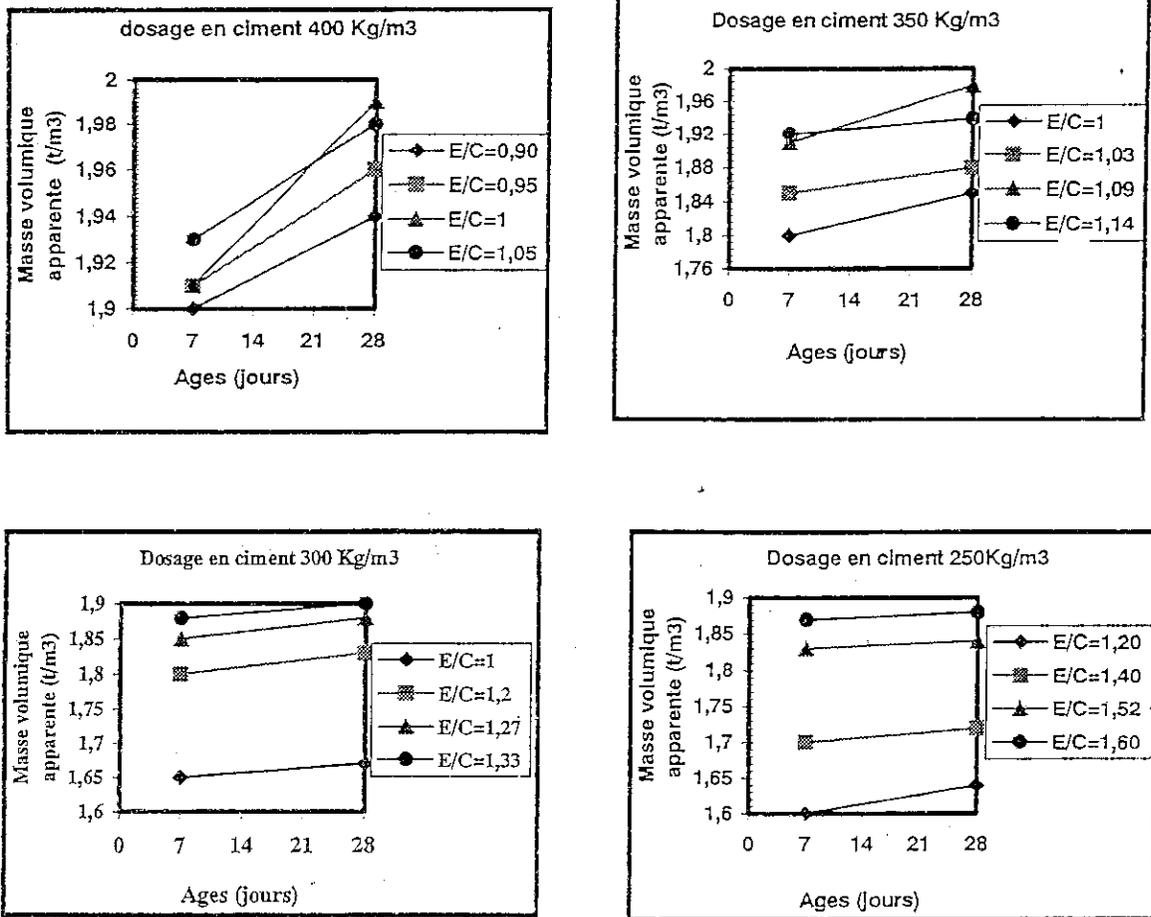


Figure 5.4 Evolution de la masse volumique apparente des mortiers à base de sable de terre cuite en fonction du temps

Les masses volumiques sont plus légères que celle d'un mortier ordinaire : le mortier a certainement hérité de la porosité de la terre cuite le constituant. D'une manière générale, les mortiers ont des masses volumiques qui augmentent légèrement dans le temps. Ceci est dû au fait que les mortiers obtenus sont poreux et continuent d'absorber de l'eau dans le temps car les éprouvettes sont conservées dans l'eau. C'est peut être aussi lié au fait que l'absorption d'eau par les pores des terres cuites ralentit quelque peu l'hydratation du ciment aux âges les plus précoces. Par conséquent celle-ci a tendance à continuer au même rythme qu'aux premiers jours entre 7 et 28 jours contrairement aux mortiers ordinaires pour lesquels le phénomène se ralentit nettement au-delà de 7 jours.

Les mortiers les plus dosés en ciment ont des masses volumiques apparentes supérieures à celles des mortiers faiblement dosés. Ceci est peut être lié à la compacité du mortier où les grains de ciment vont combler les vides existants. Mais cela est aussi dû à la plus grande proportion de grains de terre cuite qui sont légers dans les mortiers à faible concentration de ciment.

Enfin on remarquera que pour les mortiers M_{B3} (dosages à 350 kg/m^3 avec $E/C=1,09$) et M_{A3} (400 kg/m^3 $E/C=1$) la masse volumique s'accroît plus vite que les autres mortiers de même dosage en ciment, au point d'obtenir à 28 jours des masses volumiques supérieures à celles des mortiers qui était plus lourds à 7 jours. En fait nous verrons plus loin que ces deux mortiers correspondent au rapport E/C optimal, c'est à dire qui permet d'obtenir les meilleures résistances mécaniques à 28 jours.

3.1.2.2 Effet du rapport E/C sur la masse volumique apparente

Les figures 5.5 et 5.6 présentent respectivement la variation de la masse volumique apparente du mortier à 7 et 28 j en fonction du rapport E/C , pour les quatre dosages en ciment.

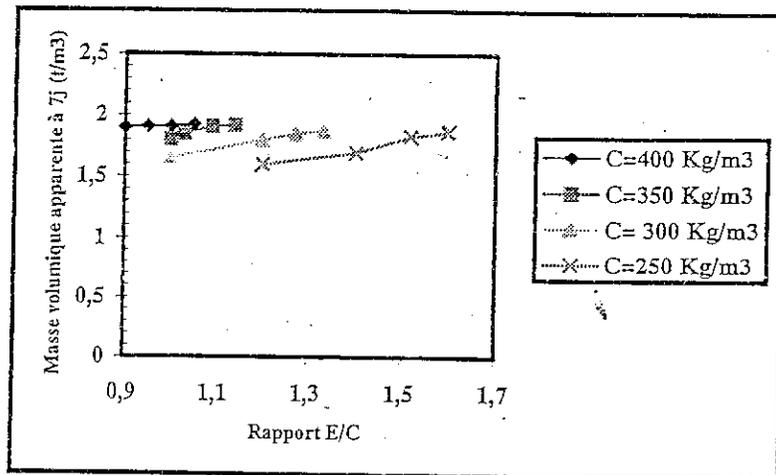


Figure 5.5 Masses volumiques apparentes à 7 j en fonction du rapport E/C et du dosage en ciment

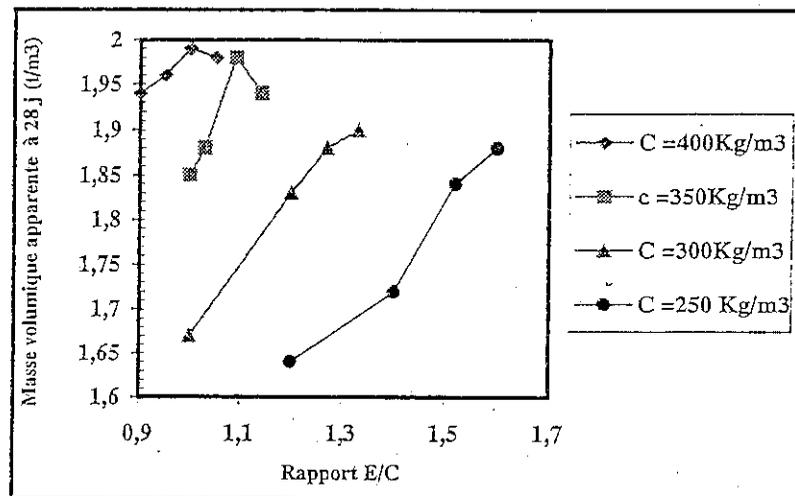


Figure 5.6 Masses volumiques apparentes à 28 j en fonction du rapport E/C et du dosage en ciment

D'après la figure 5.6, on note que la courbe de la masse volumique apparente à 28 jours est sous forme d'une cloche pour les deux dosages en ciment les plus élevés, 350 et 400 Kg/m³. Tandis que pour les dosages en ciment de 250 et 300 Kg/m³, on remarque un accroissement de forme hyperbolique (pente diminuant pour E/C élevés) sans obtenir de pic car le maximum est alors le point extrémité comme pour les courbes à 7 jours. Cette ressemblance avec les courbes à 7 jours nous laisse penser que peut être ces deux dosages en ciment correspondent à des mortiers de ciment mal hydratés car trop riches en sable de terre cuite –et donc trop pauvres en ciment-. Cette analyse sera d'ailleurs corroborée lors de la présentation des résultats d'essais mécaniques.

3.1.3 Résistance à la compression

Les résultats des essais de la résistance à la compression sont regroupés dans le tableau 5.3

Dosage en ciment Kg/m ³	Notation	Rapport E/C	Résistance à la compression R _C MPa	
			7 j	28 j
400	M _{A1}	0.90	9.60	29.20
	M _{A2}	0.95	12.81	36.10
	M _{A3}	1	10.94	36.88
	M _{A4}	1.05	13.86	30.81
350	M _{B1}	1	8.75	23.91
	M _{B2}	1.03	9.40	25.30
	M _{B3}	1.09	10.00	28.44
	M _{B4}	1.14	8.91	25.94
300	M _{C1}	1	6.80	6.92
	M _{C2}	1.2	7.20	8.90
	M _{C3}	1.27	4.84	19.38
	M _{C4}	1.33	7.34	18.12
250	M _{D1}	1.20	3.65	7.94
	M _{D2}	1.40	7.97	10.31
	M _{D3}	1.52	3.56	12.26
	M _{D4}	1.60	5.00	12.71

Tableau 5.3 Résistances à la compression

3.1.3.1 Accroissement de la résistance à la compression dans le temps

La figure 5.7 représente l'évolution de la résistance à la compression au cours du temps pour les quatre dosages en ciment. Les résistances obtenues pour les dosages les plus élevés en ciment et en eau sont voisines de celles d'un mortier ordinaire.

D'après le tableau 5.3 et la figure 5.7, on remarque que pour les deux dosages en ciment les plus élevés : 400 et 350 Kg/m³, la résistance à la compression R_c évolue régulièrement dans le temps quasiment à vitesse constante même au-delà de 7 jours, quel que soit le dosage en eau. Tandis que pour les deux autres dosages en ciment, 300 et 250 Kg/m³ avec sous dosage en eau (mortiers fermes ou très fermes : E/C < 1,27 à 300 kg/m³ et E/C < 1,52 à 250 kg/m³), on observe un ralentissement très net de la croissance de la résistance à la compression au-delà de 7 jours avec un palier voir une baisse, notamment pour le dosage en ciment de 250 Kg/m³ avec un rapport E/C = 1.20. Ce dernier cas correspond d'ailleurs à un mortier très ferme. Ainsi, les résultats obtenus nous ont permis de constater que plus le mélange est pauvre en ciment -et donc riche en sable- et plus il est hydrophile et donc plus l'hydratation du ciment est ralentie. On remarque d'ailleurs sur la figure 5.7 que la vitesse d'accroissement de la résistance diminue lorsque le dosage en ciment baisse. Cette observation semble être corroborée par l'analyse des masses volumiques qui montre des masses volumiques bien supérieures pour les mortiers les plus riches en ciment : plus le mélange est riche en ciment et mieux il s'hydrate.

Ainsi pour les dosages en ciment à 400 et 350 kg/m³ on constate que l'accroissement de R_c se fait avec le même taux d'accroissement de 0 à 7 jours et de 7 à 28 jours. Ceci nous laisse penser que l'hydratation du ciment se fait lentement à cause de la porosité du granulat recyclé et donc le durcissement continue au même rythme au-delà de 7 jours car les éprouvettes sont conservées dans l'eau et le mécanisme d'hydratation continue à la même vitesse jusqu'à 28 jours. L'absorption d'eau par les pores du sable recyclé a donc engendré certainement un ralentissement considérable de l'hydratation du ciment aux âges précoces qui est compensé ultérieurement grâce à la conservation dans l'eau.

Ce ralentissement du durcissement est encore plus net pour les dosages en ciment de 300 et 250 Kg/m³ avec les faibles rapport E/C qui ont donné des mortiers très fermes (le temps d'écoulement est très élevé) et une baisse de la résistance à 28 jours.

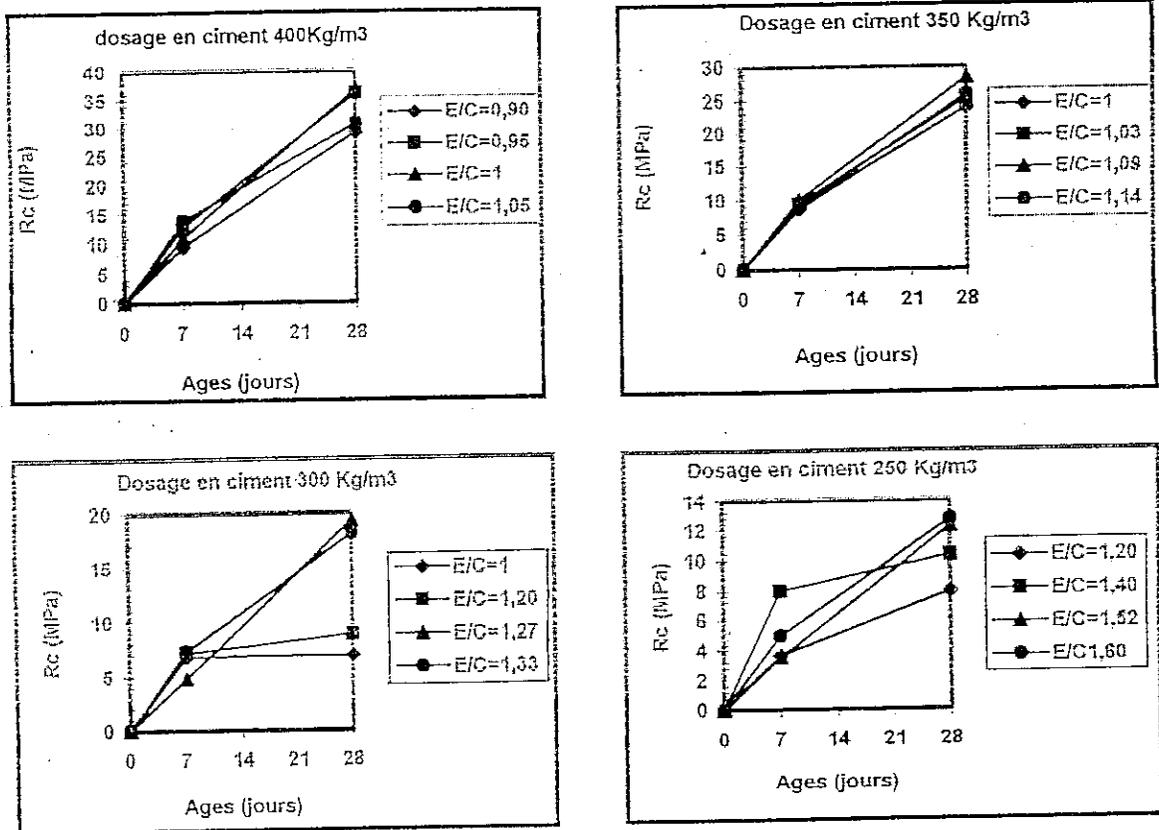


Figure 5.7 Evolution de la résistance à la compression pour chaque dosage en ciment

3.1.3.2 Etude de l'influence du rapport E/C sur la résistance à la compression

Les figures 5.8 et 5.9 illustrent respectivement la variation de la résistance à la compression à 7 et à 28 jours en fonction du rapport E/C pour les quatre dosages en ciment

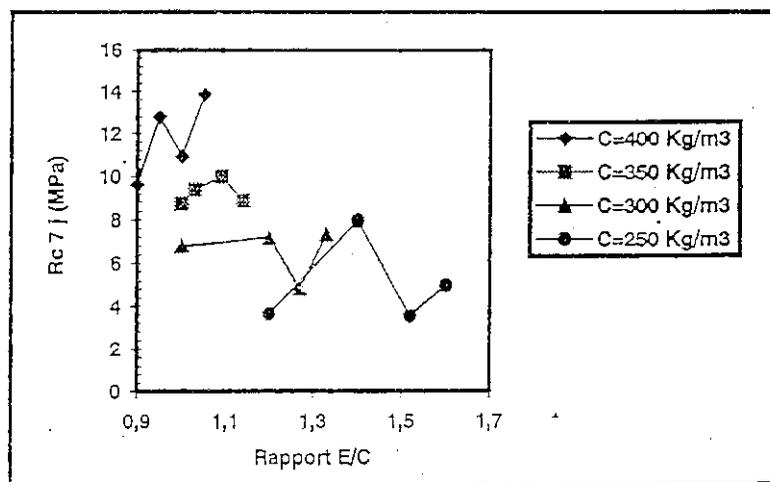


Figure 5.8 Résistances à la compression à 7 jours en fonction du rapport E/C pour chaque dosage en ciment

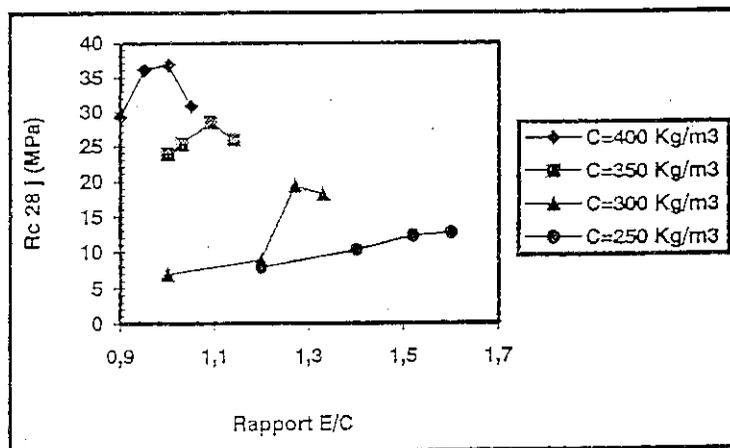


Figure 5.9 : Résistances à la compression à 28 jours en fonction du rapport E/C pour chaque dosage en ciment

La lecture des résultats du tableau 5.3 ainsi que l'observation des courbes de la figure 5.8 et 5.9 montrent que les courbes de la variation de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport E/C présentent généralement une forme en cloche avec un maximum qui correspond au rapport E/C optimal. La résistance à 28 jours pour ce dernier rapport E/C a été très importante avec des dosages en ciment supérieurs à 300 Kg/m³ alors qu'à 7 jours la résistance obtenue a été plutôt faible.

En fait, on peut penser que la porosité du sable perturbe l'hydratation aux échéances les plus précoces, puis grâce à la conservation dans l'eau il y a une compensation et même un rattrapage du retard dans le durcissement en absorbant de l'eau en quantité relativement importante au-delà de 7 jours..

3.1.4 Résistance à la traction par flexion

Les résultats des essais de la résistance à la traction par flexion sont résumés dans le tableau 5.4. On voit ici que tout comme pour la compression ce sont les mortiers les plus riches en ciment et en eau qui donne les meilleures résistances. Ces dernières sont d'ailleurs proches de celle d'un mortier ordinaire.

Dosage en ciment K/m ³	Notation	Rapport E/C	Résistance à la traction par flexion (R _t) MPa	
			7 j	28 j
400	M _{A1}	0.90	3.40	4.89
	M _{A2}	0.95	3.85	5.78
	M _{A3}	1	4.13	6.43
	M _{A4}	1.05	1.57	5.98
350	M _{B1}	1	3.35	3.95
	M _{B2}	1.03	3.46	4.80
	M _{B3}	1.09	3.75	6.30
	M _{B4}	1.14	3.43	5.68
300	M _{C1}	1	2.75	2.42
	M _{C2}	1.2	3.83	4.10
	M _{C3}	1.27	2.68	4.80
	M _{C4}	1.33	3.18	4.72
250	M _{D1}	1.20	2.35	1.57
	M _{D2}	1.40	3.12	4.13
	M _{D3}	1.52	2.50	3.60
	M _{D4}	1.60	2.62	3.98

Tableau 5.4 Résistances à la traction par flexion

3.1.4.1 Evolution de la résistance à la traction par flexion au cours du temps

La figure 5.10 illustre la variation de la résistance à la traction par flexion R_t dans le temps pour chaque dosage en ciment. Les résultats sont pratiquement similaires à ceux obtenus en compression.

D'après les résultats trouvés et au vu de la figure 5.10, on constate que R_t évolue de la même façon que la résistance à la compression. Ainsi pour les deux dosages en ciment, 400 et 350 Kg/m³, le durcissement du mortier se fait régulièrement dans le temps quel que soit le dosage en eau où la résistance à la traction par flexion croît régulièrement dans le temps. Tandis que pour les dosages en ciment de 300 et 250 Kg/m³, on remarque un ralentissement de l'évolution de la résistance à traction au-delà de 7 jours et même une baisse de R_t pour les plus faibles E/C comme on l'avait vu pour la compression. Ces phénomènes peuvent s'expliquer de la

même manière que pour la compression du fait de la porosité des grains du sable qui ont tendance à ralentir l'hydratation du ciment en absorbant l'eau nécessaire à hydrater le ciment.

D'autre part, on constate que le taux d'accroissement de R_t est le même de 0 à 7 jours et de 7 à 28 jours pour les quatre dosages en ciment et que la résistance est très importante lorsque le dosage en ciment est élevé. De ce point de vue là, cela est analogue aux mortiers ordinaires à base de granulats naturels.

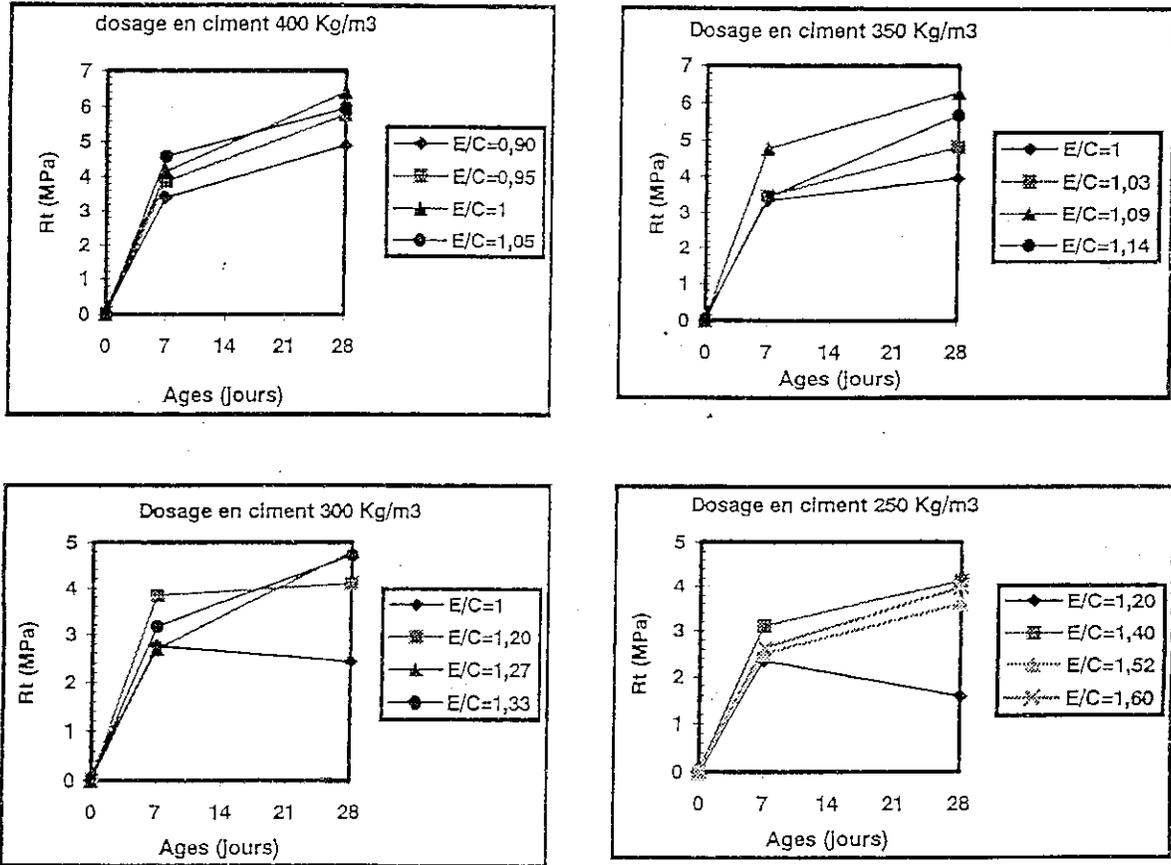


Figure 5.10 Evolution de la résistance à la traction par flexion dans le temps pour chaque dosage en ciment

3.1.4.2 Influence du rapport E/C sur la résistance à la traction par flexion

D'après les figures 5.11 et 5.12, on présente la variation respectivement de la résistance à la traction par flexion (R_t) à 7 jours et à 28 jours en fonction du rapport E/C.

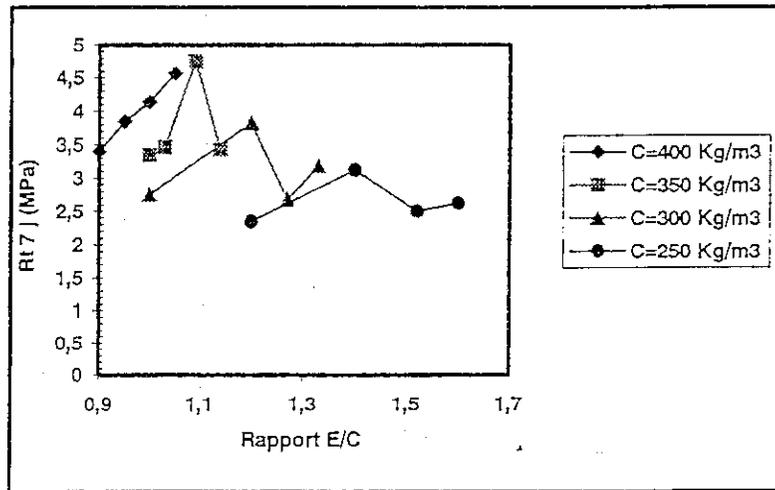


Figure 5.11 Par dosage en ciment, variation des résistances à la traction par flexion à 7 jours en fonction du rapport E/C

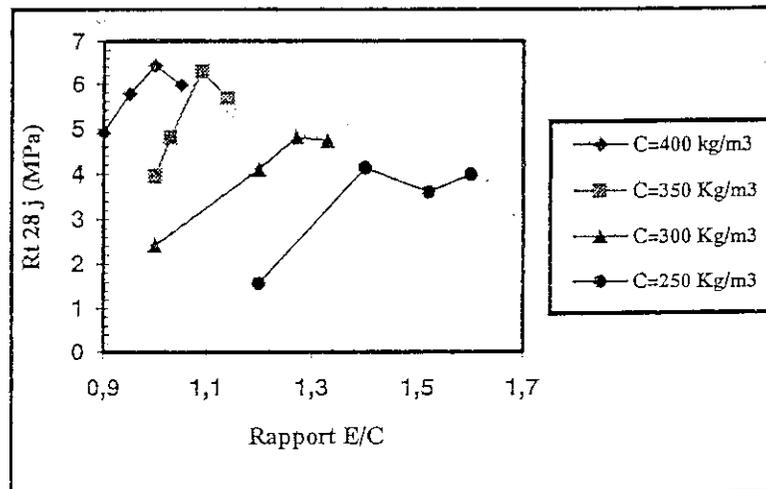


Figure 5.12 Par dosage en ciment, variation des résistances à la traction par flexion à 28 jours en fonction du rapport E/C

En examinant les courbes présentées dans la figure 5.12 donnant la variation de la résistance en flexion à 28 jours en fonction du rapport E/C, on remarque généralement qu'elles présentent une forme en cloche avec un maximum qui correspond au rapport E/C optimal. Ceci est tout à fait similaire à ce que l'on a vu pour les essais de compressions. Les mêmes commentaires quant à l'influence de la porosité sur l'hydratation restent valables.

3.1.5 Rapport entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente

D'après les résultats regroupés dans les tableaux 5.2 et 5.3, on note clairement une relation très importante entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente. D'une part, on s'aperçoit que les mélanges donnant un ralentissement de l'évolution voir une baisse de la résistance à la compression à 28 jours sont ceux qui ont les plus faibles masses volumiques apparentes qui se situent entre 1.67 et 1.83 t/m³. D'autre part, les mortiers les plus résistants sont généralement les plus lourds. En effet, à 28 jours leurs masses volumiques apparentes se situent entre 1.88 et 1.98 t/m³. Comme nous l'avons déjà expliqué précédemment, ceci s'explique certainement par le fait qu'ils sont mieux hydratés grâce à un dosage en eau et en ciment optimal d'où une masse volumique plus élevée.

3.1.6 Influence de l'ambiance de conservation

Les tableaux 5.5, 5.6 et 5.7 rassemblent les principales valeurs obtenues pour les deux cas de conservation : la conservation dans l'eau et la conservation à l'air libre.

Dosage en ciment Kg/m ³	Notation	E/C	Maniabilité (s)	Masse volumique apparente (t/m ³)					
				Conservation dans l'eau			Conservation à l'air libre		
				7 j	28 j	90 j	7 j	28 j	90 j
400	M _{A3}	1	35	1.91	1.99	2.10	1.82	1.74	1.74
	M _{A4}	1.05	12	1.93	1.98	2.05	1.67	1.63	1.63
350	M _{B3}	1.09	30	1.91	1.98	2.01	1.79	1.66	1.64
	M _{B4}	1.14	13	1.92	1.94	1.97	1.68	1.62	1.59
300	M _{C3}	1.27	25	1.85	1.88	1.92	1.70	1.58	1.56
	M _{C4}	1.33	13	1.88	1.90	1.91	1.62	1.61	1.60
250	M _{D4}	1.60	10	1.87	1.88	1.90	1.64	1.63	1.58

Tableau 5.5 Résultats de la masse volumique apparente pour les deux cas de conservation

Dosage en ciment Kg/m ³	Notation	E/C	Maniabilité (s)	Résistance à la compression (Mpa)					
				Conservation dans l'eau			Conservation à l'air libre		
				7 j	28 j	90 j	7 j	28 j	90 j
400	M _{A3}	1	35	10.94	36.88	35.63	13.91	21.67	20.94
	M _{A4}	1.05	12	13.86	30.81	29.89	12.03	13.13	12.89
350	M _{B3}	1.09	30	10.00	28.44	26.56	10.83	17.71	15.00
	M _{B4}	1.14	13	8.91	25.94	25.60	12.93	13.18	11.09
300	M _{C3}	1.27	25	4.84	19.38	17.90	9.06	15.86	17.29
	M _{C4}	1.33	13	7.34	18.12	17.99	5.00	9.43	9.21
250	M _{D4}	1.60	10	5.00	12.71	13.58	4.24	7.84	8.12

Tableau 5.6 Résistances à la compression pour les deux cas de conservation

Dosage en ciment Kg/m ³	Notation	E/C	Maniabilité (s)	Résistance à la traction par flexion (Mpa)					
				Conservation dans l'eau			Conservation à l'air libre		
				7 j	28 j	90 j	7 j	28 j	90 j
400	M _{A3}	1	35	4.13	6.43	6.72	3.71	5.80	5.25
	M _{A4}	1.05	12	4.57	5.98	6.25	3.55	3.37	3.18
350	M _{B3}	1.09	30	4.75	6.30	6.55	3.12	4.82	4.53
	M _{B4}	1.14	13	3.43	5.68	6.13	3.88	2.92	2.63
300	M _{C3}	1.27	25	2.68	4.80	5.60	3.17	4.13	4.52
	M _{C4}	1.33	13	3.18	4.72	5.28	2.10	2.55	2.23
250	M _{D4}	1.60	10	2.62	3.98	5.47	2.66	2.82	3.07

Tableau 5.7 Résistances à la traction par flexion pour les deux cas de conservation

En examinant les résultats exposés au tableau 5.5, on remarque une baisse entre 7 et 28 jours de la masse volumique lors de la conservation à l'air libre quel que soit le dosage en ciment. Par contre, on constate une légère stabilisation dans l'évolution de la masse volumique apparente au-delà de 28 jours. En revanche pour les éprouvettes conservées dans l'eau il y a une hausse faible mais plus régulière de la masse volumique jusqu'à 90 jours. Ceci s'explique par le fait que les éprouvettes de mortier perdent toute leur eau évaporable à l'air libre et aussi, dans une moindre mesure, par le retardement de l'hydratation du ciment qui se prolonge à un rythme constant bien au-delà de 7 jours voir 28 jours.

D'après les résultats du tableau 5.6, on remarque que la résistance à la compression augmente quelle que soit l'ambiance de conservation. Par contre, on constate que l'influence de l'ambiance de conservation est considérable sur la valeur de la résistance à la compression, quel que soit le dosage en ciment. On observe ainsi une perte de résistance du mortier conservé à l'air libre, par rapport à la conservation en eau. Cette chute de résistance a pour origine, selon toute vraisemblance, la perturbation de l'hydratation du ciment par les grains poreux de terre cuite qui ne peut être compensée dans le temps comme lors de la cure à l'eau. Ainsi par exemple, dans le cas d'un mortier dosé à 400 Kg/m³ en ciment et à un rapport eau/ ciment de 1, on remarque une perte de résistance à 28 jours lors de la conservation à l'air libre de 41% par rapport à la conservation en eau.

Les mêmes observations ont été constatées dans le cas des résultats de l'essai de traction par flexion. Les résistances à la traction des mortiers conservés à l'air libre sont plus faibles que celles de ceux conservés dans l'eau. Cette chute de résistance peut atteindre 10% dans le cas d'un mortier dosé à 400 Kg/m³ en ciment

3.2 Etude des ajouts sur un mortier dosé à 400 Kg/m³

Dans cette partie 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 ou d'adjuvants. Pour ce faire, nous avons choisi de limiter l'étude au cas d'un mortier dosé en ciment à 400 Kg/m³ de sable sec en suivant deux procédures :

- Pour un rapport E/C fixe, plusieurs mélanges ont été testés en mélangeant dans différentes proportions deux sables, l'un est naturel et l'autre recyclé.
- Pour une teneur en adjuvant fixe, nous avons confectionné des mortiers à base de sable recyclé avec quatre dosages en eau en utilisant deux superplastifiants différents. Nous avons étudié deux cas : dans le premier cas nous avons fixé le rapport E/C constant et dans le deuxième cas la maniabilité est maintenue constante.

Dans les deux cas d'ajouts la conservation des éprouvettes a été effectuée dans l'eau.

3.2.1 Mortier à base d'un mélange de sable naturel et de sable recyclé

Pour un rapport E/C = 0,75, des compositions de mortier ont été préparées à base d'un mélange de deux sables, l'un est naturel (sable marin de Zemmouri) et l'autre de terre cuite recyclée. Le sable naturel a été remplacé par du recyclé dans différentes proportions variant suivant un pas de 25% du poids total de sable. Le rapport E/C = 0.75 a été retenu car il correspond à une bonne maniabilité pour un mortier à base de 100% de sable naturel. Le tableau 5.8 regroupe les résultats obtenus pour les cinq cas de sables envisagés.

M _{N/R}	Maniabilité (s)	Masse volumique apparente (t/m ³)		Résistance à la traction (Mpa)		Résistance en compression (MPa)	
		7j	28j	7j	28j	7j	28j
M _{100/0}	8	2.18	2.22	5.10	7.7	20.20	29.97
M _{75/25}	6	2.11	2.14	4.69	6.83	19.97	28.48
M _{50/50}	25	2.03	2.05	4.88	6.52	19.51	25.50
M _{25/75}	70	1.81	1.82	3.38	3.92	11.54	16.40
M _{0/100}	240	1.53	1.56	1.15	1.25	1.35	1.65

Tableau 5.8 Résultats des différents mélanges

La notation M_{N/R} indique un mortier réalisé à partir des deux sables où N est le pourcentage de sable naturel et R est le pourcentage de sable recyclé. Ainsi par exemple M75/25 désigne un sable constitué à 75% de sable naturel et à 25% de sable de terre cuite.

3.2.1.1 Effet de la proportion de substitution en sable recyclé sur la maniabilité du mortier frais.

Lors de la manipulation nous avons remarqué que plus la proportion de sable de terre cuite recyclée utilisée augmente et plus la maniabilité du mortier devient mauvaise lors du malaxage et lors de la mise en place des éprouvettes. La figure 5.13 illustre d'ailleurs l'effet du pourcentage de substitution en sable recyclé sur la maniabilité du mortier.

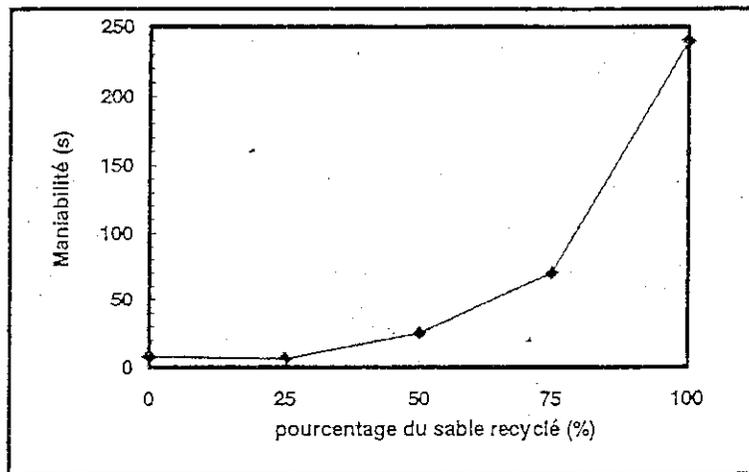


Figure 5.13 Variation de la maniabilité en fonction du pourcentage de substitution en sables recyclé

Ainsi, on remarque que le temps d'écoulement croît avec le pourcentage de substitution en sable recyclé. Ceci peut s'expliquer par le fait que les grains du sable recyclé vont absorber une quantité très importante d'eau de gâchage par rapport aux grains de sable naturel. Ce phénomène est dû principalement à la différence de porosité entre les deux types de sables. La courbe obtenue présente ainsi une forme parabolique.

3.2.1.2 Variation de la masse volumique apparente du mortier en fonction de la proportion de substitution en sable recyclé

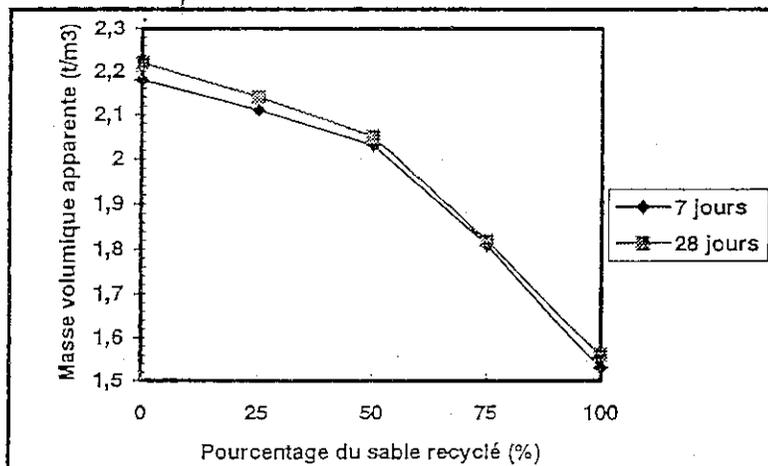


Figure 5.14 : Masse volumique apparente en fonction de la proportion de substitution en sable recyclé

D'après le tableau 5.8 et la figure 5.14, on remarque que la masse volumique apparente des mortiers incorporant le sable recyclé est plus basse que celle du mortier témoin (mortier à 100% sable naturel), ce qui est logique puisque le sable de terre cuite est plus léger.

D'autre part, on constate tout comme pour les mortiers à 100 % de sable de terre cuite une légère augmentation de la masse volumique apparente dans le temps pour tous les mortiers. Celle-ci est certainement due à la conservation dans l'eau.

3.2.1.3 Résistance à la compression.

3.2.1.3.1 Evolution de la résistance à la compression au cours du temps.

Le tableau 5.9 présente les résultats moyens obtenus lors de l'écrasement d'éprouvettes de mortiers à base des cinq mélanges de sables présentés précédemment avec $E/C=0,75$. On y donne aussi le rapport en pourcentage de la résistance obtenue par rapport à celle d'un mortier témoin dosé à 400 kg/m^3 avec un sable naturel à 100%. La figure 5.15 illustre l'évolution de la résistance à la compression avec l'âge des différents mortiers.

Désignation	Résistance à la compression (Mpa)					
	7 jours		28 jours		90 jours	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
M100/0	20.20	100	29.97	100	34.20	100
M75/25	19,97	98,9	28,48	95,0	30,70	89,8
M50/50	19,51	96,6	25,50	85,1	28,45	83,2
M25/75	11,54	54,10	16,40	54,72	18,20	53
M0/100	1,35	6,57	1,65	5,5	1,80	5,3

Tableau 5.9 Résistance à la compression des différents mortiers ($E/C=0,75$) en fonction de la proportion de sable de terre cuite et rapport en pourcentage avec le mortier à 100% de sable naturel

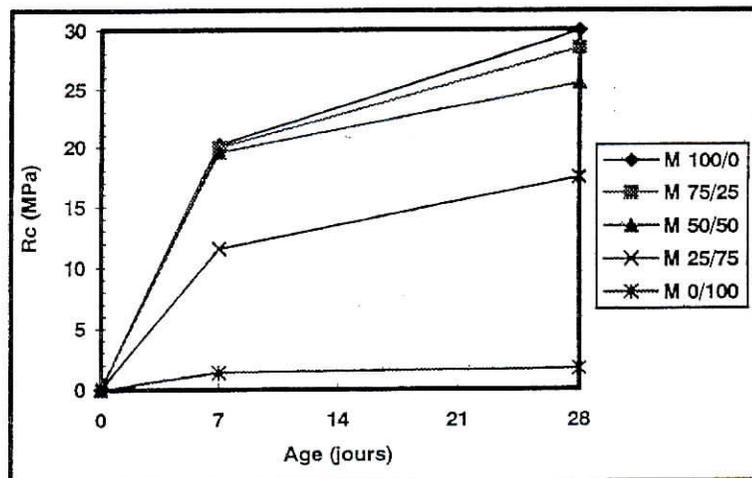


Figure 5.15 Evolution de la résistance en compression au cours du temps.

Du tableau 5.6 et de la figure 5.15, on constate une augmentation régulière de la résistance à la compression avec l'âge jusqu'à 90 jours pour tous les mélanges. On remarque aussi sur les courbes d'évolution un net changement de pente après 7 jours. Toutefois on s'aperçoit que plus la proportion de sable de terre cuite augmente et plus les résistances baissent. En fait jusqu'à 50% de sable de terre cuite les résistances sont acceptables et la pente de la courbe d'évolution entre 0 et 7 jours reste la même par rapport au mortier sans sable de terre cuite. On peut donc dire que jusqu'à 50% de sable de terre cuite l'hydratation n'est pas trop perturbée et le durcissement n'est pas encore trop ralenti.

Par contre au-delà de cette proportion la pente de la courbe d'évolution s'affaiblit nettement : l'hydratation est sérieusement parasitée par la porosité de la terre cuite et donc les résistances sont affaiblies. D'ailleurs les maniabilités de ces mortiers deviennent très mauvaises (temps d'écoulement supérieur à 50 s). Ces mélanges ont besoin de beaucoup plus d'eau pour atteindre des résistances acceptables même avec une cure à l'eau.

3.2.1.3.2 Effet de la proportion de substitution en sable recyclé sur la résistance à la compression.

La figure 5.16 présente la variation de la résistance à la compression de mortier durci en fonction de pourcentage du substitution en sable recyclé.

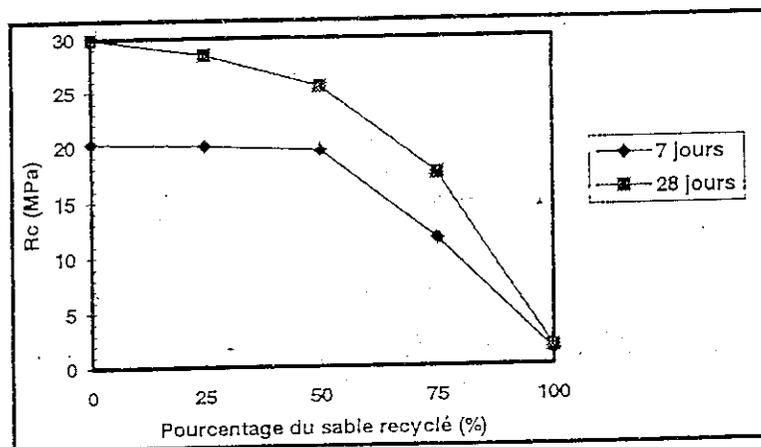


Figure 5.16 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en sable recyclé de terre cuite à 7 et 28 jours

De la figure 5.16 et des résultats mentionnés au tableau 5.6, on constate que le pourcentage du sable recyclé vient jouer un rôle déterminant quant aux performances mécaniques du mortier. On constate que plus il y a du sable recyclé dans le mélange de mortier, plus la résistance va être diminuée. On remarque ainsi que le mortier ayant 100% de sable recyclé présentera une résistance de 5.5% à 28 jours par rapport à celle du mortier témoin (100% de sable naturel).

3.2.1.4 Effet du taux de substitution en sable recyclé sur la résistance à la traction par flexion

Le tableau 5.10 récapitule les valeurs de la résistance moyenne à la traction à 7, 28 et 90 jours des différents mortiers réalisés. Dans la figure 5.17, on illustre la variation de cette résistance en fonction du pourcentage du substitution du sable recyclé.

Désignation	Résistance à la traction par flexion (Mpa)					
	7 jours		28 jours		90 jours	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
M100/0	5.10	100	7.7	100	9.68	100
M75/25	4.69	91.96	6.83	88.70	8.15	84.19
M50/50	4.88	95.69	6.52	84.68	7.98	82.44
M25/75	3.38	66.27	3.92	50.91	4.76	49.17
M0/100	1.15	22.55	1.25	16.23	1.40	14.46

Tableau 5.10 Résultats de l'essai de traction par flexion

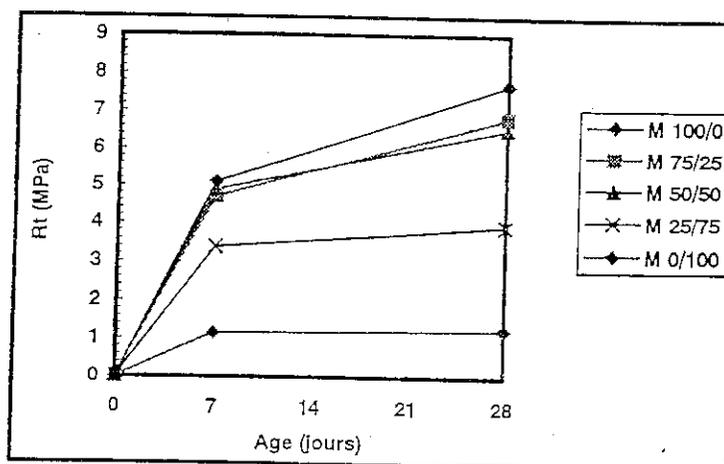


Figure 5.17 Evolution de la résistance à la traction par flexion pour différents pourcentages de substitution du sable recyclé

Du tableau 5.10 et de la figure 5.17, on constate que la résistance à la traction par flexion évolue de la même façon que la résistance à la compression. La résistance à la traction par flexion décroît avec l'augmentation du pourcentage de substitution en sable recyclé. Pour le mortier ayant 100% de sable recyclé, on constate une chute de résistance à la traction très importante par rapport à celle de mortier témoin. Cette chute est de 84% à 28 jours et de 86% à 90 jours, ces résultats sont analogues à ceux trouvés pour la résistance à la compression.

En effet, ici encore seuls les mortiers n'incorporant pas plus de 50% de sable de terre cuite ont des résistances assez voisines du mortier témoin (plus de 82% de la résistance du témoin). Au-delà de cette proportion les écarts par rapport au témoin deviennent supérieurs à 50% pour les résistances à 28 jours et plus. En fait les mêmes commentaires que pour la compression sont valables ici aussi. Au-delà de 50% de sable recyclé la quantité d'eau de gâchage est insuffisante.

3.2.1.5 Rapport entre la résistance à la compression et la masse volumique apparente

D'après le tableau 5.6, on remarque que la résistance à la compression est proportionnelle à la masse volumique apparente. Ces résultats confirment une relation tout à fait évidente entre la masse volumique apparente et la résistance à la compression. Plus le matériau est dense plus sa résistance est élevée. On y constate que le mortier ayant 100% de sable recyclé a la plus faible masse volumique apparente et par conséquent il a la plus faible résistance.

3.2.1.6 Etude du retrait

Une campagne d'essais a été menée afin d'étudier les déformations par retrait des différents mortiers préparés à base des différents mélanges des deux sables, naturel et recyclé. Le tableau 5.11 regroupe les valeurs de retrait obtenues en air sec (20°C ; 50% HR) en $\mu\text{m}/\text{m}$.

Notation	Retrait ($\mu\text{m}/\text{m}$)					
	3j	7j	14j	28j	56j	90j
M100/0	485.17	572.20	620.30	744.56	790.97	809.12
M75/25	520.24	584.96	647.49	760.79	820.67	860.73
M50/50	577.78	647.48	750.66	841.72	860.76	900.30
M25/75	620.62	710.44	780.76	910.17	1005.07	1008.95
M0/100	640.70	760.13	870.14	1776.84	1910.60	2458.76

Tableau 5.11 : Retraits obtenus à différents âges et pour des mortiers à base de mélanges de sables naturel et de terre cuite

La figure 5.18 montre l'évolution du retrait dans le temps des différents mortiers réalisés. D'après les résultats trouvés, on observe que le retrait en air sec du mortier à base de sable issu des débris de terre cuite est nettement plus important que celui du mortier à base de sable naturel d'environ 25% jusqu'à l'âge de 7 jours et à l'âge de 90 jours il atteint une augmentation d'environ 67%. De plus, plus la proportion de sable de terre cuite augmente et plus le retrait augmente.

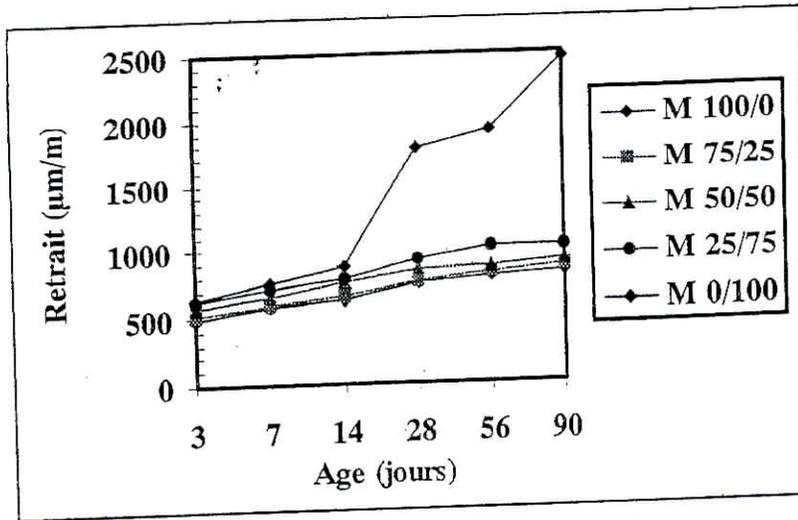


Figure 5.18 Evolution du retrait des différents mortiers réalisés

Ceci peut s'expliquer d'une part par le fait que les deux sables ont été introduits secs dans le mélange et d'autre part par l'absorption d'eau plus forte du sable recyclé qui est d'environ 5 fois plus par rapport au sable naturel. Par conséquent, la succion initiale exercée par les capillaires des grains du sable recyclé étant plus importante, le retrait qui suit cette dernière est logiquement plus grand : l'eau absorbée par les granulats au début du malaxage s'élimine au cours de la prise et du durcissement des mortiers.

3.2.1.7 Capacité d'absorption d'eau

Notation	Absorption d'eau par capillarité en grammes								
	10 mn	20 mn	30 mn	40 mn	50 mn	60 mn	70 mn	80 mn	90 mn
M100/0	8.07	9.12	10.03	11.73	11.96	12.40	12.75	13.28	13.37
M75/25	22.63	23.71	24.36	25.19	25.65	26.14	26.60	26.70	27.10
M50/50	4	8.07	15.30	18.30	20.57	21.87	22.90	23.83	25.32
M25/75	17.67	24.80	27.10	28.47	29.83	30.67	31.03	31.43	31.07
M0/100	29.60	29.87	30.37	30.90	31.55	32.20	32.70	33.45	34.36

Tableau 5.12 : Résultats de l'essai d'absorption d'eau par capillarité au cours du temps (jusque 90 minutes)

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau sont regroupés dans le tableau 5.12. La figure 5.19 illustre l'évolution de l'absorption d'eau par capillarité des différents mélanges de mortiers.

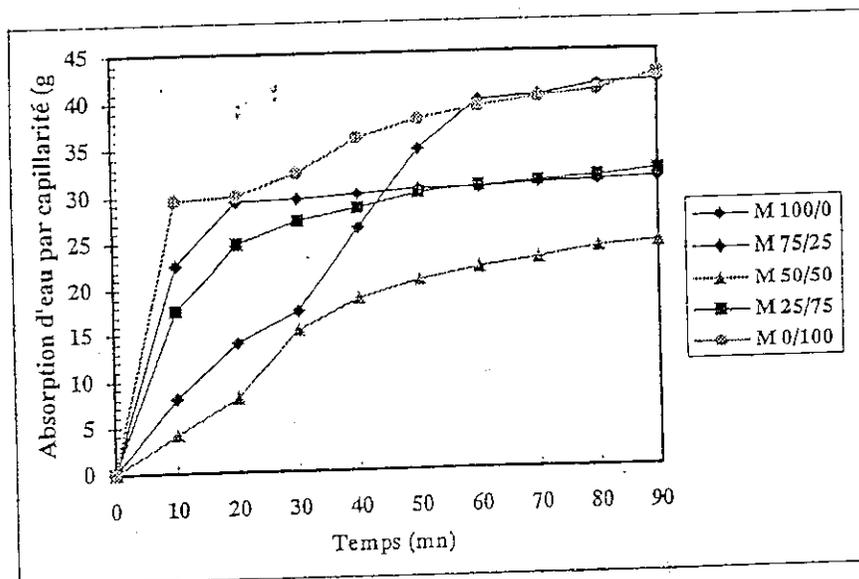


Figure 5.19 Evolution de l'absorption d'eau par capillarité des mortiers

En examinant les résultats trouvés, on constate que le sable issu des débris de terre cuite a une influence négative sur l'ascension capillaire et ce en fonction de la proportion utilisée. En fait, on peut dire que généralement plus la proportion de sable de terre cuite augmente et plus l'absorption d'eau par capillarité augmente. Seul le cas du mélange M50/50 semble présenter des résultats qui ne concordent pas avec cette observation peut être est ce du à une erreur de manipulation. Ceci peut s'expliquer par la plus forte capacité d'absorption d'eau du sable recyclé. Les résultats obtenus sur les mortiers mixtes sont intermédiaires. L'absorption d'eau par capillarité est directement liée à la porosité du mortier. Un mortier à base de sable naturel est plus compact, moins poreux et par conséquent plus étanche à l'eau.

3.2.2 Etude d'un mortier avec sable-recyclé et adjuvant

Les résultats obtenus précédemment ont montré que l'utilisation de sable de terre cuite sans ajouts de sable naturel nécessite une quantité très importante d'eau de gâchage pour obtenir des résistances mécaniques correctes. Afin de réduire la consommation d'eau, nous avons essayé d'ajouter un superplastifiant pour des mortiers à 100% de sable recyclé. A cette fin, nous avons étudié l'influence de ce type d'adjuvant sur les performances mécaniques (résistance à la traction par flexion et à la compression). Dans nos essais, nous avons choisi de tester deux superplastifiants: Medafluid SF de Granitex et Sikafluid 200R de Sika. Le dosage en adjuvant a été fixé à 2.5 % en poids de ciment. Tandis que pour le ciment on a utilisé 400 kg/m³ de sable. Le tableau 5.14 regroupe les résultats trouvés pour des mortiers avec différents rapports E/C.

E/C	Medafluid SF							Sikafluid 200R						
	Maniabilité (s)	γ (t/m ³)		Rt (Mpa)		Rc (Mpa)		Maniabilité (s)	γ (t/m ³)		Rt (MPa)		Rc (MPa)	
		7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours		7 jours	28 jours	7 jours	28 jours	7 jours	28 jours
0.75	60	1.64	1.66	1.72	2.43	3.46	7.42	90	1.64	1.66	2.32	2.63	6.69	9.84
0.85	40	1.84	1.84	5.3	6.78	23.02	28.26	35	1.83	1.91	5.65	6.29	26.30	28.67
0.90	13	1.85	1.91	5.2	6.84	25.52	28.96	12	1.86	1.97	5.42	7.15	21.15	29.20
0.95	4	1.89	1.90	5.25	6.66	22.34	28.28	8	1.77	1.91	5.95	6.88	27.66	29.02

Tableau 5.13 : Résultats des différents essais effectués pour les deux types d'adjuvants

Le tableau 5.13 montre que le choix du superplastifiant ne change pas beaucoup les résultats. Toutefois les résistances du mortier avec Sikafluid sont légèrement supérieures à celles obtenues avec le Medafluid SF pour des rapports E/C similaires. Dans les deux cas le mélange optimal (résistances maximales) est obtenu à E/C=0,9 avec dans les deux cas une bonne maniabilité (12 à 13 s). Ce mélange optimal offre des résistances voisines bien que légèrement inférieures à celles d'un mortier avec 100% de sable naturel (E/C=0,75).

Aussi dans la suite de notre travail nous avons choisi de n'utiliser que le Sikafluid. Nous allons étudier deux cas :

- Le premier cas, nous allons fixer le rapport E/C à 0.75 et nous feront la comparaison entre deux mortiers : l'un est adjuvanté et l'autre non adjuvanté
- Le deuxième cas, nous fixerons une maniabilité plastique (bonne maniabilité) constante et nous allons comparer deux mortiers l'un est adjuvanté et l'autre non.

3.2.2.1 Influence de l'adjuvant sur la maniabilité du mortier

Le tableau 5.14 regroupe les résultats de maniabilité des deux types de mortiers.

Type du mortier	E/C=0.75	Maniabilité constante égale à 13s
	Maniabilité (s)	E/C
Mortier non adjuvanté	>240	1.10
Mortier adjuvanté	90	0.90

Tableau 5.14 résultats de la maniabilité

Les résultats obtenus montrent qu'à un rapport E/C constant, la maniabilité est améliorée en introduisant l'adjuvant. D'autre part, pour une maniabilité constante, on note une réduction du rapport E/C de 18%. Toutefois ce rapport reste un peu élevé à 0,90. On constate donc que l'adjuvant influe favorablement sur les propriétés du mortier frais, en améliorant sa maniabilité tout en réduisant la consommation d'eau.

3.2.2.2 Influence de l'adjuvant sur la masse volumique apparente

Le tableau 5.15 donne les résultats de la masse volumique apparente des mortiers réalisés à différents âges de conservation dans l'eau

Type du mortier	Masse volumique apparente (γ) en t/m^3			
	E/C=0.75		Maniabilité constante t=13 s	
	γ 7 jours	γ 28 jours	γ 7 jours	γ 28 jours
Mortier non adjuvanté	1.53	1.56	1.90	1.92
Mortier adjuvanté	1.64	1.66	1.86	1.97

Tableau 5.15 les masses volumiques apparentes

Les figures 5.20 et 5.21 illustrent la variation de la masse volumique apparente des deux types de mortier dans le temps.

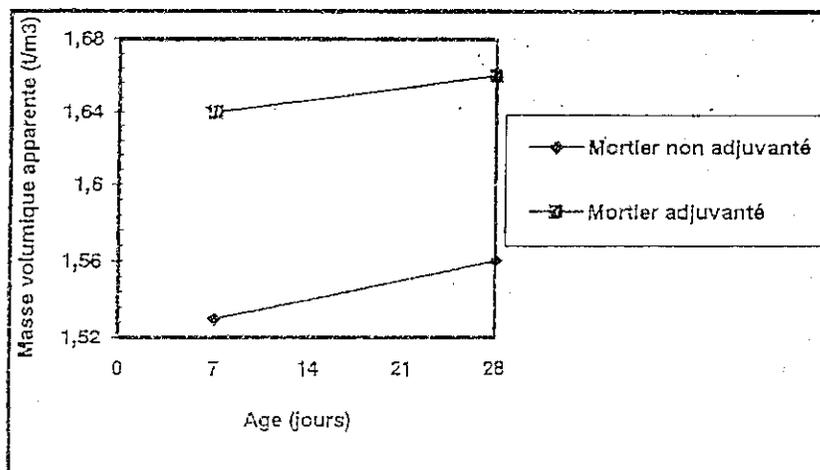


Figure 5.20 Variation de la masse volumique apparente des deux types de mortier dans le temps, avec E/C = 0.75

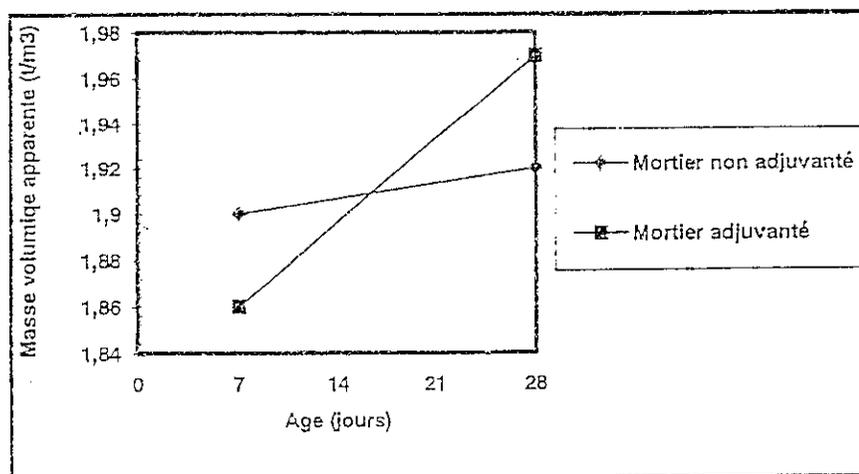


Figure 5.21 Variation de la masse volumique apparente des deux types du mortier dans le temps à maniabilité constante

D'après les résultats regroupés dans le tableau 5.16 et les deux figures 5.20 et 5.21, on constate généralement une augmentation de la masse volumique apparente dans le temps pour les deux types du mortier et pour les deux cas étudiés (E/C constant et une maniabilité constante). A E/C constant, on remarque une augmentation significative de la masse volumique apparente du mortier adjuvanté par rapport au mortier non adjuvanté de l'ordre de 6%. Cela est dû principalement à l'effet réducteur d'eau du superplastifiant, ce qui rend le mortier plus compact.

On voit aussi que l'adjuvant provoque une accélération de l'augmentation de la masse volumique au-delà de 7 jours lorsque la maniabilité est maintenue à 13 s. Alors que lorsque E/C est maintenu à 0,75 les pentes sont les mêmes avec ou sans adjuvants.

3.2.2.3 Effet de l'adjuvant sur la résistance à la compression

Les résultats comparés des résistances à la compression de mortiers avec et sans adjuvants dans le cas où E/C est maintenu à 0,75 et dans le cas où la maniabilité est maintenue à 13 s sont regroupés dans le tableau 5.16. On voit que l'adjuvant améliore la résistance des mortiers à base de sable terre cuite. Ainsi à E/C constant la résistance est augmentée de 400% à 7 jours et de 500% à 28 jours. Toutefois les résistances obtenues restent trop faibles car inférieures à 10 MPa : L'apport de l'adjuvant n'a pas permis de réduire suffisamment la consommation d'eau. Le rapport E/C optimal avec un adjuvant se situe d'ailleurs vers 0,9.

Par contre à maniabilité constante à 13 s, les résistances qui étaient déjà satisfaisantes sans adjuvants sont bonnes avec le superplastifiant. En fait l'adjuvant a surtout permis d'améliorer la résistance à 7 jours (+42%). Tandis que la résistance à 28 jours n'est que faiblement augmentée (+5%). En fait le superplastifiant a permis de limiter l'effet parasite de la porosité sur le mécanisme d'hydratation car il a pour effet d'améliorer la distribution des grains de ciment et par conséquent de permettre une meilleure hydratation.

Type du mortier	E/C=0.75		Maniabilité constante t=13 s	
	Rc _{7j} (Mpa)	Rc _{28j} (Mpa)	Rc _{7j} (Mpa)	Rc _{28j} (Mpa)
Mortier non adjuvanté	1.35	1.65	14.89	27.20
Mortier adjuvanté	6.69	9.84	21.15	29.20

Tableau 5.16 Résistance à la compression du mortier recyclé avec ajout d'un superplastifiant

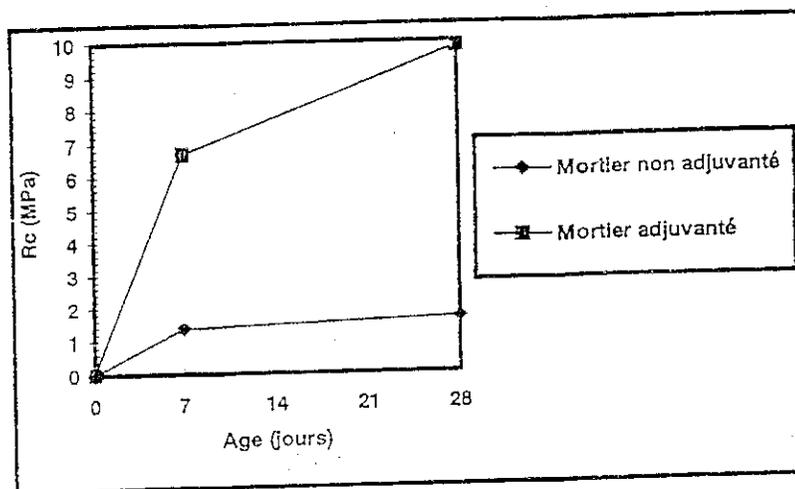


Figure 5.22 Evolution de la résistance à la compression des deux types de mortier dans le temps, avec E/C =0.75

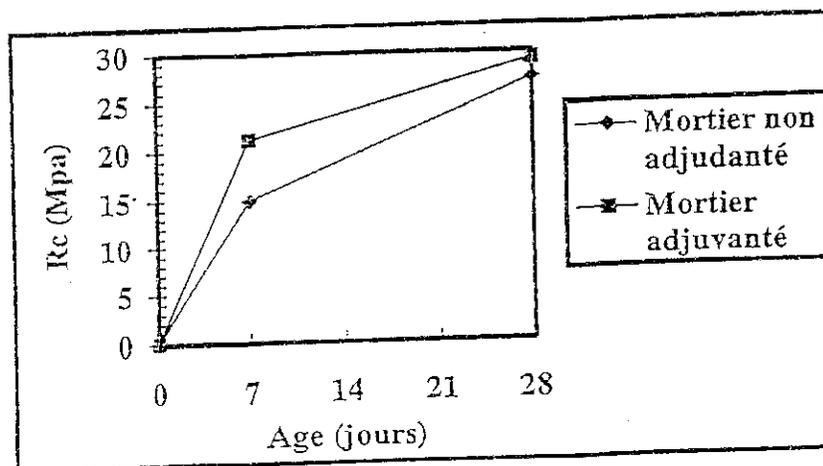


Figure 5.23 Evolution dans le temps de la résistance à la compression des deux types de mortier à maniabilité maintenue constante à 13 s

Ainsi en examinant les figures 5.22 et 5.23 donnant la variation de la résistance à la compression R_c dans le temps, on constate que celle-ci augmente au cours du temps avec ou sans adjuvant. De plus, pour une maniabilité constante, on remarque une amélioration de la résistance à la compression du mortier adjuvanté grâce à un meilleur taux d'accroissement de la résistance entre 0 et 7 jours grâce à l'effet réducteur d'eau du superplastifiant.

3.2.2.4 Effet de l'adjuvant sur la résistance à la traction par flexion

Les résultats de la résistance à la traction par flexion sont regroupés dans le tableau 5.17

Type du mortier	Résistance à la traction par flexion (Mpa)			
	E/C=0.75		Maniabilité constante t=13 s	
	Rt _{7j}	Rt _{28j}	Rt _{7j}	Rt _{28j}
Mortier non adjuvanté	1.15	1.25	4.72	5.35
Mortier adjuvanté	2.32	2.63	5.42	7.15

Tableau 5.17 Résistances à la traction par flexion du mortier avec ajout d'un superplastifiant

Les figures 5.24 et 5.25 illustrent l'évolution de la résistance à la traction par flexion au cours du temps.

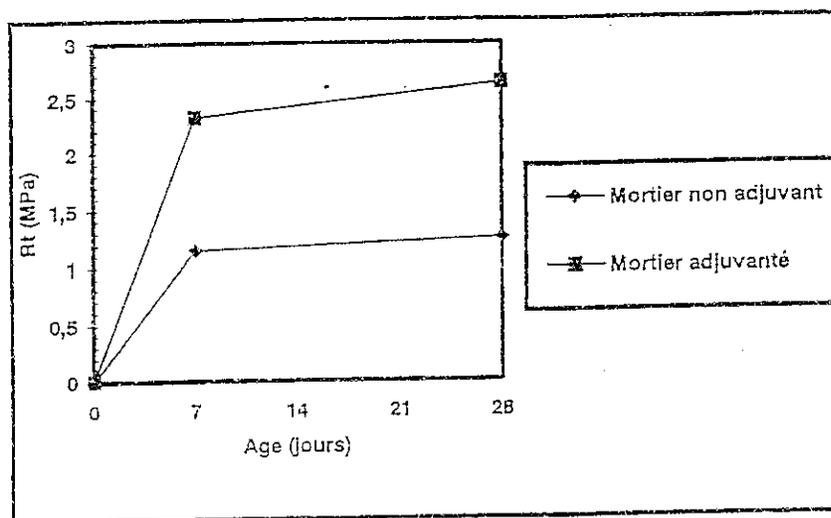


Figure 5.24 Evolution de la résistance à la traction par flexion des deux types du mortier au cours du temps avec E/C = 0.75

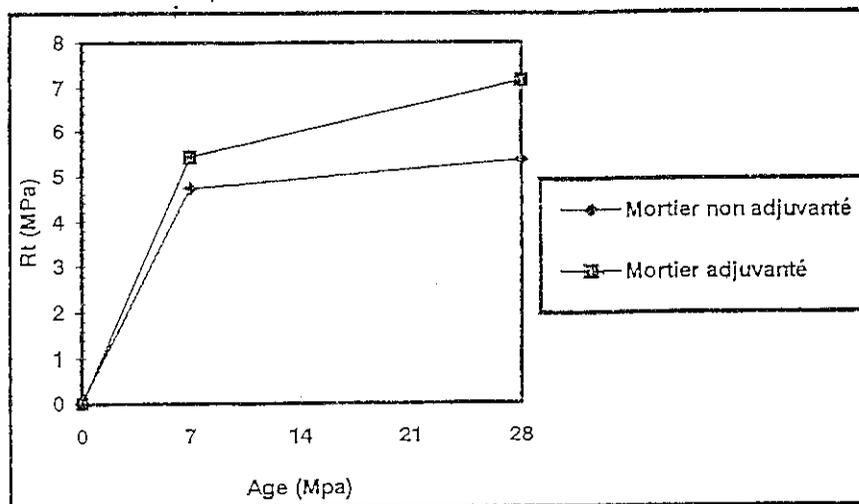


Figure 5.25 Evolution de la résistance à la traction par flexion des deux types du mortier au cours du temps à maniabilité constante

D'après les figures 5.24 et 5.25, on constate une augmentation de la résistance à la traction par flexion au cours du temps quels que soient le type du mortier et pour les deux cas étudiés. Pour une maniabilité constante, on remarque que la résistance par flexion (R_t) est aussi améliorée avec l'incorporation d'un superplastifiant. Cette amélioration est de l'ordre de 34% à 28 jours. D'autre part, on remarque que la résistance en traction à 7 jours du mortier adjuvanté est supérieure à celle obtenue à 28 jours pour le mortier sans adjuvant.

En ce qui concerne le cas où E/C est maintenu constant, on constate, tout comme pour la compression, une amélioration de R_t encore plus importante qu'à maniabilité constante. Cela peut s'expliquer par le fait que l'incorporation d'un superplastifiant va améliorer l'hydratation du ciment et par conséquent les performances mécaniques.

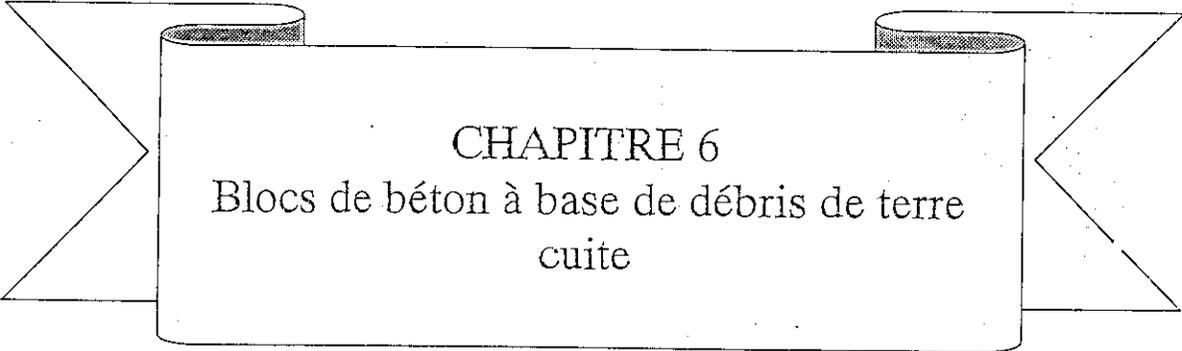
4. CONCLUSION

De cette étude, nous pouvons dégager un certain nombre de conclusions qui nous éclairent sur l'influence du sable de terre cuite sur les caractéristiques des mortiers de ciment :

- ◆ Les résultats obtenus lors des essais sur mortiers constitués avec le sable de débris de terre cuite, montrent clairement que l'inconvénient majeur que peut présenter l'utilisation de ce type de sable est l'augmentation sensible de la quantité d'eau de gâchage exigée par la porosité élevée de ces sables et probablement aussi par la présence de fines. En effet, le sable de débris de terre cuite est issu du concassage et cette opération génère une quantité importante d'éléments fins (cf chapitre 4 l'analyse granulométrique). Ainsi les mortiers les plus résistants exigent un rapport E/C supérieur à 1. Cette hydrophilie des sables de terre cuite rend nécessaire la conservation dans l'eau afin d'obtenir des résistances satisfaisantes.

- ◆ L'utilisation de mélanges de sables (un sable naturel et un sable recyclé) permet de diminuer nettement la quantité d'eau de gâchage. A un rapport E/C constant, nous pouvons constater que l'utilisation du sable recyclé diminue légèrement les résistances mécaniques. Il semble ainsi que le mélange moitié sable naturel moitié terre cuite soit l'optimum. Car il permet de maintenir de bonnes résistances et une bonne maniabilité sans trop consommer d'eau. Par contre, en incorporant le sable de terre cuite on remarque une diminution notable de la masse volumique apparente du mortier : on obtient un mortier léger. Ceci laisse supposer que ce produit offre une meilleure isolation thermique par rapport à un mortier ordinaire. Toutefois plus la proportion de sable de terre cuite augmente et plus le mortier sera poreux et donc susceptible d'absorber de l'eau rapidement par capillarité. Ce dernier phénomène risque de limiter l'usage de ces mortiers comme enduits de façade. Aussi des essais de mortiers comme enduit sont en cours d'essais au CNERIB.

- ◆ L'utilisation d'un superplastifiant a l'avantage d'améliorer la maniabilité du mortier et de minimiser considérablement la quantité d'eau de gâchage tout en améliorant les performances mécaniques. Mais toutefois le rapport E/C optimal ne saurait être inférieur à 0,9. On voit donc que l'idéal serait peut être de combiner l'ajout de superplastifiant avec le mélange d'un sable naturel au sable de terre cuite. Une étude pour trouver les dosages optimaux reste donc à faire en mélangeant adjuvant et sable naturel au sable de terre cuite.



CHAPITRE 6

Blocs de béton à base de débris de terre
cuite

SIXIEME CHAPITRE

BLOCS DE BETON A BASE DE DEBRIS DE TERRE CUITE

1. INTRODUCTION

La plupart des applications de granulats recyclés s'opèrent actuellement dans le domaine routier. Par ailleurs, l'emploi des granulats recyclés dans les bétons a été étudié, en revanche, leur utilisation pour la production de blocs en béton est moins fréquent. Or, celle-ci présente des particularités importantes liées, notamment aux caractéristiques demandées au béton à l'état frais. Il s'avère donc nécessaire de déterminer la faisabilité technique des blocs en béton de granulats recyclés. Tel est l'objectif de notre recherche.

Ce chapitre présentera notre expérience relative à la production des blocs de béton à base de granulats recyclés de terre cuite. Ensuite, une comparaison sera faite par rapport aux études effectuées dans ce domaine par certains pays européens. Notre étude portera donc sur l'évolution des résistances à la compression en fonction de différents âges du bloc. Les maçonneries travaillent presque uniquement à la compression, l'essai de compression est de ce fait important car il donne une indication sur la résistance que l'on peut attendre d'un bloc. Les caractéristiques qui se rapportent à la masse volumique apparente et l'isolation thermique seront aussi étudiées afin de montrer la possibilité de fabriquer des blocs de béton à base de granulats recyclés de terre cuite.

2. Un paysage normatif en évolution sur les blocs de béton à base de granulats recyclés

Les granulats recyclés issus des déchets de démolition ne répondent pas, pour certains, de leurs caractéristiques (coefficient d'absorption d'eau et teneur en soufre), aux exigences fixées par les normes relatives aux granulats pour béton hydrauliques. Cependant, les recherches menées montrent que, sous certaines conditions, leur emploi dans les bétons ne présente pas de difficultés. Des recherches sont menées dans certains pays d'Europe sur l'utilisation des granulats recyclés pour la fabrication des blocs de maçonnerie. En France, par exemple, le CSTB avec la collaboration du CEBTP, a élaboré une étude dont le but de normaliser les blocs de maçonnerie à base de granulats recyclés [69]. La norme française P 14-301 [70] traite des caractéristiques des blocs en béton de granulats courants (hors laitier concassé et laitier granulé), spécifie que ceux-ci doivent aussi répondre à la norme NFP 18-301 [71] de 1983 qui ne concerne que les granulats «naturels». La norme NFP 18-301 et, par conséquent, la norme NFP 14-301 excluent donc, de leur champ d'application, les granulats d'origine artificielle (transformation thermique de roches, minerais et déchets, démolition d'ouvrages divers).

L'étude française [69] a montré que la norme NFP 14-301 pourrait s'appliquer aux blocs en béton de granulats recyclés si :

- ❖ les caractéristiques des granulats respectent les exigences de la norme P18-541 [72], en particulier la masse volumique, l'absorption d'eau et la teneur en sulfate (les granulats recyclés respectent très difficilement ces exigences) ;
- ❖ les caractéristiques des blocs respectent les différentes exigences de la norme NFP 14-301 [70], en particulier la résistance à la compression des blocs et leurs variations dimensionnelles entre états conventionnels extrêmes.

Cependant, cet environnement codificatif a été modifié par la publication de la norme P18-540 [63] «Granulats : définition, conformité et spécifications» qui annulera et remplacera les normes P18-101 [73] «Granulats : vocabulaire, définitions et classification» et P18-541 [72]. Cette nouvelle norme de 1997 définit quatre (04) catégories (A, B, C et D) de granulats pour bétons hydrauliques et, pour certaines de ces catégories, des exigences moins sévères. Cette norme autorise une utilisation plus fréquente des granulats recyclés dans les produits et ouvrages normalisés.

En Belgique, des blocs en béton à base de granulats recyclés sont testés conformément à la norme NBN B21-001 (1988) [74] relative aux matériaux de maçonnerie en béton. Une étude a été élaborée par le CSTC qui montre la possibilité de fabriquer des blocs creux de maçonnerie à partir de matériaux recyclés [75].

3. PROCEDURES ET ESSAIS SUR LES BLOCS DE BETON

3.1 Equipements

❖ Pondeuse à parpaing

Pour le moulage de nos blocs, nous avons utilisé une pondeuse à parpaing type vibromatic. Cette pondeuse est prévue pour la production en grand série de produits agglomérés, tels que les parpaings et les hourdis. Le moteur et le vibreur sont supportés par un châssis mobile.

❖ Les Moules

Des moules métalliques ont été utilisés pour la fabrication des blocs de béton creux. Ces moules ont les dimensions suivantes : 150 mm par 200 mm par 400 mm. Des moules prismatiques de 27x27x5 cm ont ainsi été utilisés pour confectionner des éprouvettes afin de déterminer le coefficient de conductivité thermique.

❖ Malaxeur

Les mélanges témoins comme ceux recyclés ont été brassés dans un malaxeur de 100 litres de type planétaire. Ce type de malaxeur possède trois pales tournant autour d'un axe et deux autres fixes, en plus d'une cuve tournant dans le sens inverse de celui des pales en mouvement, ce qui permet de bien homogénéiser les matériaux.

❖ Appareil de mesure de la conductivité thermique

Un appareil de type λ mètre a été utilisé pour mesurer la conductivité thermique. Le principe de cet appareil est basé sur la méthode des boîtes.

3.2 Confection des blocs de béton

La facilité de démoulage et la tenue des bétons frais sont des critères essentiels à la fabrication des blocs. Les teneurs en eau des bétons ont été ajustées en fonction de ces deux critères. Une campagne de fabrication au laboratoire a été entreprise pour produire des blocs répondant aux critères B40 définis dans la norme française P 14-301 [70]. Des blocs creux en béton de 15x20x40 cm ont été réalisés soit comme « blocs témoins » soit comme des « blocs recyclés » à base de granulats de terre cuite. Toutefois, on a confectionné en premier lieu des éprouvettes cubiques de 10x10x10 cm, afin d'avoir la composition optimale de béton des blocs de maçonnerie en maîtrisant surtout la teneur en eau de ces bétons.

La méthode de Dreux Gorisse [76] a été utilisée pour déterminer la composition optimale. Un slump de 1 cm, correspondant à un béton très ferme, a été fixé. A noter que l'ouvrabilité du béton frais a été mesurée selon la norme française P 18-451 [77]. La résistance des cubes à viser à 28 jours est de 8 MPa ce qui correspond à une résistance de 4 MPa pour les blocs en béton. Plusieurs gâchées ont été réalisées en faisant varier la nature du granulat (naturel ou recyclé) ; la teneur en ciment a été la même pour les deux types de béton ainsi que la consistance du béton qui est maintenue toujours « très ferme ». Le tableau 6.1 regroupe toutes les caractéristiques des gâchées réalisées pour le béton témoin et pour celui réalisé à base de granulats recyclés de terre cuite. Il est à noter que la formulation par 1 m³ du béton a été retenue après correction.

Dénomination du mélange	E/C	Dosage en ciment Kg/m ³	Granulats naturels		Granulats recyclés	
			Gravillon 3/8 Kg	Sable 0/3 Kg	Gravillon 3/8 Kg	Sable 0/3 Kg
B _T	0.83	200	1302	681	-	-
B _R	1.65	200	-	-	1114	569

Tableau 6.1 Caractéristique des gâchées réalisées

A noter que B_T et B_R correspondent respectivement aux blocs témoins réalisés avec les granulats naturels et aux blocs recyclés à base de granulats issus du concassage des briques de terre cuite.

La quantité d'eau ajoutée et la vibration de la pondeuse à parpaing ont été adaptées à la consistance prévue pour les blocs de béton. Après 24 h, les blocs ainsi fabriqués ont été mis dans une salle de conservation à 20°C et à 65% d'humidité relative jusqu'au jour de l'écrasement. Avant l'écrasement, les blocs ont été pesés afin d'étudier leur masse volumique en fonction du temps. On a aussi mesuré les dimensions des blocs pour vérifier le respect les écarts dimensionnels admissibles des blocs donnés par la norme française P 14 - 402 [78].

3.3 Essai de la résistance à la compression

L'essai de la résistance à la compression a été effectué sur les deux types de béton que ce soit le témoin ou le recyclé. Il est décrit par la norme NF P 18-411 (classe C) [79] relative aux matériaux durs. La norme française NF P 14 - 301 [70] définit des classes de résistance des blocs en béton B_N . Conformément au tableau 6.2 une classe B_N correspond à une résistance en compression de N bars.

Types de blocs	Classe de résistance		
	Blocs pleins et perforés	B_{80}	B_{120}
Blocs creux	B_{40}	B_{60}	B_{80}

Tableau 6.2 Classes de résistance des blocs en béton selon la norme NF P 14 - 301

D'après cette norme pour un béton d'une classe donnée, aucun résultat ne doit être inférieur à 0.8 fois la valeur de la résistance de la classe.

Pour chaque bloc, on détermine par des procédés géométriques, dans un plan parallèle au plan de pose, la section brute minimale S_b , la section minimale S_n et, éventuellement, la section d'appui S_a .

La norme NF P 14 - 101 [80] donne les définitions suivantes :

- ❖ Section brute « S_b » : est la surface obtenue en multipliant les deux dimensions effectives, épaisseur et longueur, mesurées dans une même section horizontale.
- ❖ Section nette « S_n » : est la surface qui reste après déduction des vides de la section brute.
- ❖ Section d'appui « S_a » : la surface commune des parties de face de pose et de face d'appui superposées aux joints de mortier et susceptibles de transmettre les charges.

La contrainte à la rupture rapportée à la section brute minimale, exprimée en mégapascals, s'obtient en divisant la valeur en décanewtons de la charge de rupture du bloc C , par 10 fois la valeur en centimètres carrés de la section brute minimale du bloc S_b et en multipliant le résultat obtenu par le rapport : section d'appui sur section nette. On aura alors la formule suivante :

$$R = \frac{C}{S_b \times 10} \times \frac{S_a}{S_n}$$

Dans notre cas les blocs sont à joints horizontaux continus, alors on aura $S_a = S_n$; d'où la contrainte à la rupture devient :

$$R = \frac{C}{S_b \times 10}$$

Avant chaque écrasement, les blocs ont été surfacés par un enduit de pâte pure comme il est indiqué dans la norme NF P 14 – 301 [70].

3.4 Mesure de la conductivité thermique

Dans une construction, les transmissions calorifiques se produisent à tous les niveaux : toits, murs, sols, fenêtres, portes. Les transmissions les plus importantes se font au niveau des murs et de la toiture. Aussi l'utilisation de blocs de maçonnerie qui ne transmettent pas trop la chaleur est un atout. La conductivité thermique est la grandeur qui caractérise la faculté qu'a la chaleur de traverser aisément un corps en régime permanent. Elle est exprimée par le coefficient λ en watts par mètre et par degré de température ($W/m^\circ C$). Le coefficient de conductivité thermique λ correspond au flux thermique, rapporté à l'unité de surface (soit le m^2), traversant un corps d'une épaisseur de 1m, dont l'écart de température entre les deux faces est de $1^\circ C$. A noter que le flux thermique dépend de la masse volumique et de la porosité, ouverte ou fermée du matériau. λ est d'autant plus faible que la masse volumique est peu élevée et la porosité importante. Plus λ est élevé, plus le matériau transmet la chaleur. Un corps ayant un coefficient élevé est un mauvais isolant [81].

Dans notre travail, la technique de mesure utilisée est la méthode des boîtes (λ mètre). Elle a été mise au point par le laboratoire d'études thermiques et solaires de l'université Claude Bernard Lyon I en France [82]. Les dimensions des échantillons sont parallélépipédiques $27 \times 27 \times 5 \text{ cm}^3$. L'échantillon de surface S , placé entre la capacité isotherme froide et la source de chaleur à flux constant (R), est traversé par un flux thermique q supposé unidirectionnel. On mesure alors le gradient de température qui s'établit entre ses deux faces lorsque celui-ci devient constant. Une fois que le régime permanent est établi, la conductivité thermique apparente, exprimée en $W/m^\circ C$ est donnée par :

$$\lambda = \frac{e}{S \Delta T} (q + C \Delta T)$$

Avec ;

C : coefficient de déperdition thermique. Constante donnée par le fabricant du λ mètre.

ΔT : écart de température entre les ambiances extérieures et intérieures.

e : épaisseur du bloc.

4. RESULTATS ET INTERPRETATION - CARACTERISATION DES BLOCS DE BETON

4.1 Caractéristiques d'aspect et dimensions des blocs

Tous les blocs réalisés, y compris les blocs témoins ont une apparence granuleuse. Les blocs composés de granulats recyclés sont légèrement rosâtres, tandis que les blocs témoins ont une couleur grise. Sur les mêmes types de blocs, on remarque de légères fissures sur la face de pose. Les dimensions extérieures des blocs sont de 15x20x40 cm. Pour chaque type de blocs, nous avons mesuré les dimensions par le pied à coulisse conformément à la norme française P 14 -301 [70]. Le tableau 6.3 regroupe les dimensions moyennes des blocs. (Les chiffres mentionnés dans le tableau 6.4 est la moyenne de 3 valeurs prises pour chaque type de blocs).

Types de blocs	Dimension moyennes des blocs (cm)
Blocs témoin	14.9 x 19.9 x 40,0
Blocs recyclés	14.8 x 19.7 x 39.9

Tableau 6.3 Dimensions moyennes des deux types de blocs

On constate que les dimensions mesurées pour les deux types de blocs respectent les écarts admissibles donnés par la norme N F P 14 - 402 [78].

4.2 Détermination de la masse volumique apparente des blocs

La masse volumique apparente est une des caractéristiques essentielles d'un matériau de construction. En fonction de sa valeur, il est possible de caractériser un matériau telle que sa résistance mécanique et sa conductivité thermique et par conséquent de son utilisation rationnelle. La masse volumique apparente des blocs a été déterminée par la méthode géométrique dont les mesures ont été prises à chaque échéance correspond à l'âge d'écrasement pour les deux types de blocs. Dans le tableau 6.4 sont mentionnées les valeurs moyennes des masses volumiques apparentes des différents blocs de béton.

Type de mélange	Masse volumique apparente (Kg/m ³)	
	7 jours	28 jours
B _T	1106	1093
B _R	759	751

Tableau 6.4 Masses volumiques apparentes moyennes des blocs en fonction de l'âge de conservation

A noter que les valeurs des masses volumiques obtenues pour chaque bloc et pour chaque type de mélange sont indiquées dans le tableau.1 de l'annexe 2. La figure 6.1 illustre la variation de la masse volumique apparente dans le temps pour les deux types de blocs.

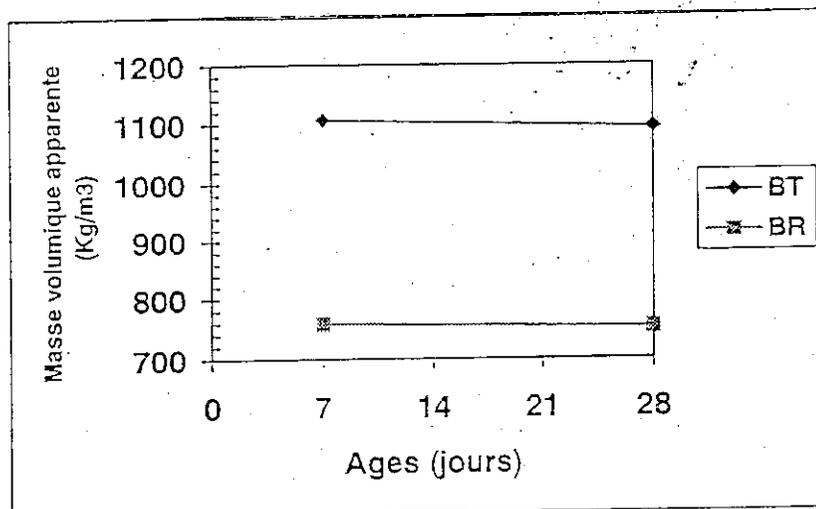


Figure 6.1 Evolution de la masse volumique apparente des deux types de blocs de béton à différents âges

On constate que la masse volumique des deux types de blocs diminue proportionnellement au cours du temps puisque la conservation a été effectuée à l'air libre. La masse volumique apparente des blocs avec des granulats recyclés est plus faible de 31 % par rapport à celle des blocs témoins, ce qui est logique car les granulats de base sont plus légers. Cette caractéristique est un élément favorable à leur mise en œuvre. Ces résultats sont d'ailleurs confirmés par d'autres chercheurs [69, 75].

4.3 Résistance à la compression des blocs

Les résultats des essais de compression pour les deux types de blocs sont indiqués dans le tableau 6.5. (les valeurs de résistance à la compression pour chaque bloc et pour chaque type de bloc sont indiquées dans le tableau.2 de l'annexe 2).

Type de mélange	Résistance à la compression (MPa)	
	7 jours	28 jours
B _T	2.37	4.45
B _R	2.04	4.40

Tableau 6.5 Résistance à la compression des blocs en fonction de l'âge de conservation

On remarque de manière générale et pour les deux types de blocs, que la résistance caractéristique est supérieure à 4 Mpa, ce qui correspond à la classe B₄₀. Les résistances à l'écrasement des deux types de blocs sont équivalentes à 28 jours. Tous ces résultats ont été confirmés par d'autres chercheurs [69, 75].

Une étude française qui a été menée par le CSTB en collaboration avec l'entreprise GTM, le CEBTP, l'entreprise Jean Lefebvre, et un fabricant de blocs a montré qu'après six mois les blocs recyclés ont donné des résistances en compression légèrement supérieures à celles des blocs témoins [69]. Cette différence peut provenir du coefficient d'absorption d'eau plus élevé des granulats recyclés. L'eau absorbée dans les granulats pourrait constituer une réserve permettant de poursuivre l'hydratation des grains de ciments après le départ de l'eau intergranulaire. Des blocs ont été confectionnés dont le but de les écraser à six mois pour confirmer cela. Toutefois à l'heure où nous rédigeons cette thèse les six mois n'étaient pas encore atteints. Dans la figure 6.2, on présente la variation de la résistance à la compression des deux types de blocs avec l'âge d'écrasement.

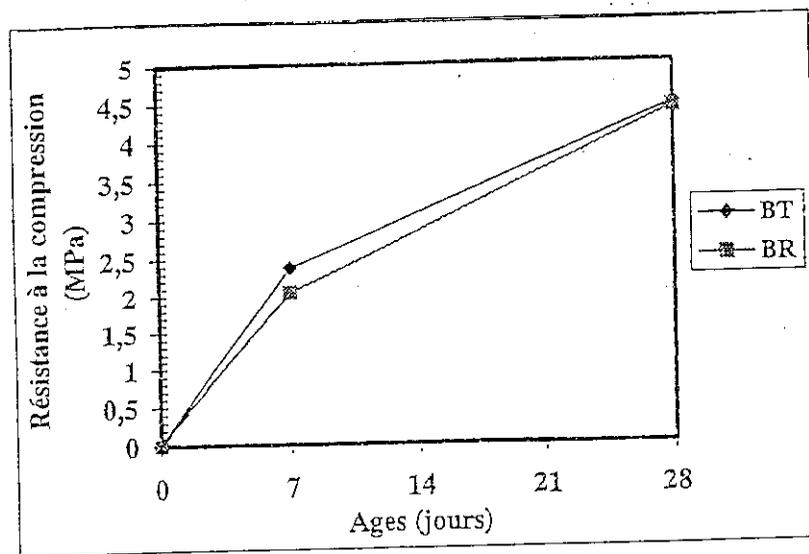


Figure 6.2 Evolution de la résistance à la compression des deux types de blocs à différents âges

On constate que pour différents âges (7 jours et 28 jours) et pour les deux types de blocs, l'augmentation de la résistance à la compression est assez importante. Mais dans les deux cas elle est la même.

4.4 Conductivité thermique

Les résultats de mesure des propriétés thermophysiques, à l'état normal (dans une salle de conservation à température de 20°C et d'humidité relative de 65%) sont donnés comme suit :

pour l'échantillon à base de granulats naturels : $\lambda = 1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$;

pour l'échantillon à base de granulats recyclés de terre cuite : $\lambda = 0.36 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

D'après les résultats obtenus, le bloc à base de granulats recyclés est beaucoup plus isolant que le bloc à base de granulats naturels. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les granulats recyclés de terre cuite sont plus légers que les granulats naturels et par leur forte porosité.

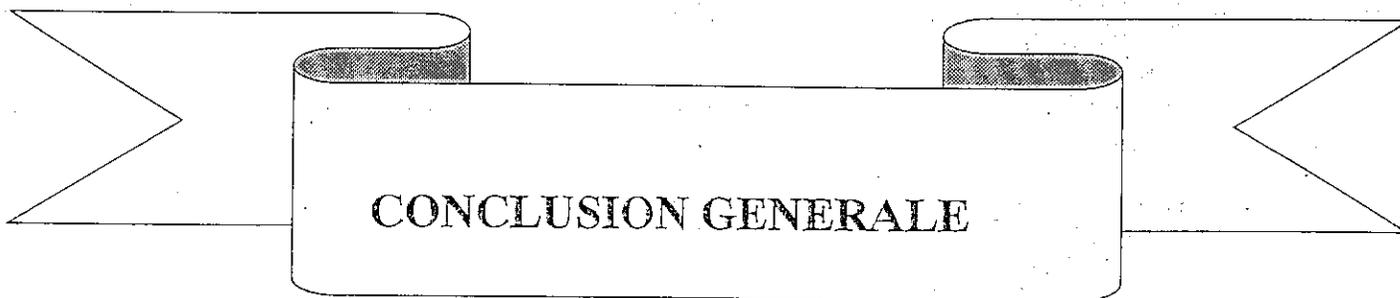
On peut donc dire que le bloc de granulats de terre cuite a de bonnes propriétés d'isolation thermique.

5. CONCLUSION

La présente étude expérimentale nous a permis de confirmer que la production des blocs de béton à base de granulats recyclés de terre cuite est techniquement possible. Nous avons étudié les caractéristiques physiques et mécaniques essentielles des blocs de maçonnerie. Les résultats trouvés concernant la résistance à la compression montrent que les deux types de blocs constitués à base de granulats recyclés et naturels ont des résistances très proches, et les deux bétons ayant la même ouvrabilité. Ces résultats sont obtenus en augmentant le rapport eau-ciment du béton à base de granulats recyclés de terre cuite à cause de leur forte absorption d'eau qui cause la consommation d'une quantité d'eau plus importante que pour un béton classique pour avoir la même ouvrabilité.

Une caractéristique très importante a été constatée concernant la légèreté des blocs à base de granulats recyclés par rapport aux blocs à base de granulats naturels. Cette légèreté alliée à la forte porosité ont permis d'obtenir un bloc de micro béton de granulats de terre cuite qui offre de bonnes propriétés d'isolation thermique avec une conductivité de l'ordre de $0.36 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. L'étude expérimentale que nous avons entamée devra probablement être poursuivie par d'autres essais intéressants, à savoir :

- ❖ les essais d'absorption d'eau et les essais de retrait ;
- ❖ l'influence de recyclages partiels qui nécessitent un mélange entre les granulats naturels et recyclés ;
- ❖ une recherche plus poussée de l'influence du prémouillage des granulats recyclés vis-à-vis des propriétés des bétons frais et durcis apparaît également utile ;
- ❖ il paraît important de connaître l'influence des impuretés susceptibles d'être présentes dans les granulats recyclés ;
- ❖ il serait également intéressant d'étudier au cours du temps le comportement des murets réalisés à partir de blocs de granulats recyclés de terre cuite.



CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La protection de l'environnement est devenue un facteur d'évolution majeur des technologies de la construction. Limiter les nuisances et / ou effets désagréables sur l'environnement extérieur des produits de construction dans chaque phase de leur cycle de vie, des équipements, des bâtiments et constructions dans leur ensemble et des activités qui y prennent place constitue de plus en plus une priorité ces dernières années. On ne peut plus continuer à épuiser les ressources naturelles et à polluer le monde avec des déchets. Il est nécessaire de changer nos habitudes et de revoir les pratiques couramment utilisées dans le domaine de la construction afin de protéger notre milieu environnemental.

La plupart des déchets provenant de la construction et de la démolition peuvent se prêter à une réutilisation ou à un recyclage dans la construction : il s'agit notamment des matériaux de remploi (briques, tuiles, poutres, ...), des produits de déblai (les décombres), des gravats (morceaux de béton, de briques, ...). Pour bien gérer ces déchets et pour éviter les décharges qui dénaturent le paysage et par conséquent, économiser les ressources en granulats naturels, nous sommes obligés à recycler et à réutiliser les déchets du BTP.

Dans la première partie de notre étude, nous avons montré l'utilité de la gestion des déchets de chantier et des différentes possibilités de valorisation de ces déchets. Une analyse des expériences étrangères, notamment celles des pays industrialisés comme l'Europe a été élaborée afin de bien cerner le sujet et de montrer leur expérience dans le domaine de recyclage et de valorisation des déchets de chantier. Cette revue de littérature nous a permis d'établir un état des lieux des déchets de chantiers en Algérie.

D'après la littérature, il a été constaté que la gestion existe au niveau des différentes phases par lesquelles passent ces déchets. Le souci de bien gérer ces déchets est présent à tous les niveaux. A cet effet, le producteur de déchets est tenu de réduire au maximum ses déchets à la source. Les autorités locales veillent à ce que le transport et la mise en décharge des déchets se fassent dans le respect de la réglementation en vigueur ; par ailleurs en plus de la taxe de mise en décharge des déchets, elle met en place une politique de taxation dissuasive qui inciterait les producteurs de déchets d'effectuer le tri préalable de leurs déchets avant leur mise en décharge. Cette exigence faciliterait les opérations de recycle et de valorisation des exploitants des décharges.

Au vu de l'état des lieux des déchets de chantier en Algérie, tel que présenté dans le chapitre trois de la première partie nous constatons que :

- ❖ Sur le plan législation et réglementation : la loi n° 83 - 03 de 1983 [43] sur l'environnement ne définit pas clairement les déchets de construction – démolition. L'action des pouvoirs publics s'est orientée dans un premier temps vers l'élimination des déchets ménagers. Cependant, de par leur degré de toxicité qui est insignifiant, les déchets de chantier du bâtiment, semblent avoir été oubliés. La situation a évalué ces dernières années, la réglementation a entraîné avec la prise en compte des préoccupations environnementales dans le secteur du bâtiment. La loi du 15 décembre 2001 [44] est venue en donnant une définition très claire des déchets de chantiers.
- ❖ Sur le plan statistique : d'après les informations recueillies auprès du ministère de l'environnement, aucune étude n'a été effectuée sur les déchets de chantiers. Actuellement, il est difficile, de donner des chiffres précis sur ce type de déchets annuellement produits. Cependant, pour montrer la quantité considérable de ces déchets, nous avons donné une estimation théorique sur la production annuelle de ces déchets. Cette estimation a été définie selon les quelques chiffres disponibles et qu'ils sont très approximatifs. De plus nous avons eu quelques informations sur la production des déchets des matériaux de construction. Selon les statistiques faites en 1996, il a été constaté que le ratio des déchets urbains est égal à 0.5 Kg/habitant/j. Pour une population de 30 millions d'environ, nous pouvons avoir environ 5.5 millions de tonnes de déchets urbains par an. Si on considère que les déchets de chantiers du bâtiment représente à eux seuls environ 40 %, on obtient donc l'équivalent de 2.2 millions de tonnes par an.

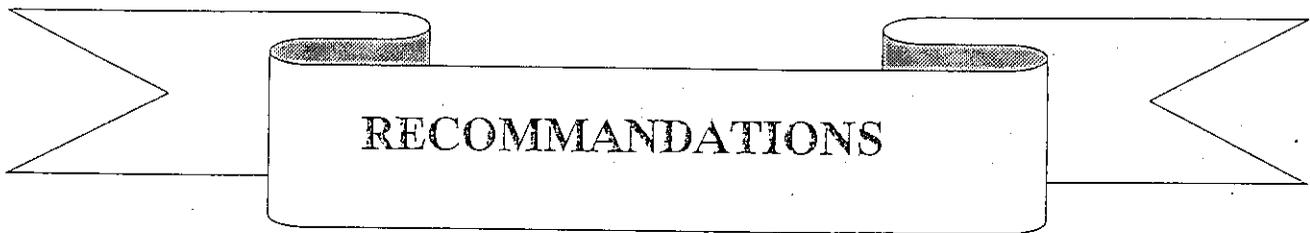
Pour montrer la situation des déchets de chantiers, un questionnaire a été adressé aux inspecteurs de l'environnement des 48 Wilayates que compte le pays. Ce questionnaire nous a conduit de constater que les déchets issus de chantiers du bâtiment sont mal gérés et dans la majorité des Wilayates il n'existe pas de décharge réservée exclusivement à ce type de déchets. Cependant, nous avons remarqué qu'une prise en charge de ces déchets a été fortement exprimée dans les réponses. Un état des lieux des déchets de chantier a été établi concernant la partie west de la Wilaya d'Alger. En effet, des cartes de localisation de ce type de déchets ont été établies. Ces cartes ont clairement montré la problématique de ces déchets et leur ampleur dans le milieu environnemental. Ce qui nous a conduit de conclure qu'il est nécessaire de prendre en compte ces déchets et de suivre une méthodologie très claire à la bonne gestion afin de protéger notre milieu environnemental.

La deuxième partie de notre travail a été consacré à l'utilisation des granulats issus du concassage des débris de terre cuite dans la confection des mortiers de ciment et des blocs de maçonnerie. Au premier vu, nous avons étudié les caractéristiques de ces granulats. Les caractéristiques ont montré que ces granulats présentent des propriétés acceptables pour la confection d'un béton hydraulique ou d'un mortier de ciment. Contrairement aux granulats naturels, les granulats recyclés ont un coefficient d'absorption d'eau très élevé à cause de la porosité de la brique de terre cuite. De plus, les granulats recyclés produisent une grande quantité de fines lors du concassage de la brique de terre cuite au laboratoire.

Après la caractérisation des granulats, nous avons passé à la confection des mortiers où plusieurs points ont été étudiés. Cette expérimentation, nous a conduit de constater que :

- Le rapport E/C est un paramètre très important dans l'étude des caractéristiques physico-mécaniques des mortiers. La forte absorption d'eau du sable issu du concassage de la brique de terre cuite nous a conduit d'augmenter la quantité d'eau de gâchage pour aboutir à un mortier résistant et de maniabilité satisfaisante.
- Le mélange des deux sables, naturel et recyclé a amélioré les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers, ainsi une amélioration de maniabilité a été constatée.
- L'introduction d'un superplastifiant a amélioré la maniabilité du mortier en diminuant la quantité d'eau de gâchage.

Une autre expérimentation a été effectuée sur l'utilisation des granulats recyclés dans la composition des blocs de maçonnerie. Des propriétés ont été définies sur les blocs de maçonnerie à base de granulats recyclés et elles sont comparées à ceux des blocs témoins. La résistance à la compression a été très proche des deux types de blocs. Les blocs à base de granulats recyclés sont très légers par rapport aux blocs témoins, donc une mise en œuvre très rapide et très facile. En plus, une bonne isolation thermique a été observée dans les blocs de maçonnerie à base de granulats recyclés.



RECOMMANDATIONS

RECOMMANDATIONS

Aujourd'hui, si on laisse les déchets de chantiers, dont le volume ne cesse d'accroître au fil des années, se déverser continuellement dans des décharges, sans avoir recours à aucun traitement ni une récupération spécifique permettant de les réduire, on assistera alors à l'apparition de montagnes de déchets de construction et de démolition qui nuisent sans doute notre milieu environnemental. Il est donc nécessaire de mettre en place une véritable méthodologie pour la bonne gestion de ces déchets. Aujourd'hui les impératifs liés à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources naturelles conduisent à considérer le recyclage des débris de construction et de démolition comme une nécessité compte tenu des avantages qu'il importe, à savoir

- ❖ La protection des ressources naturelles (énergie et granulats naturels).
- ❖ La limitation des atteintes à l'environnement (réduire par exemple les décharges).

La valorisation et le recyclage doivent donc aider à supplier le manque de granulats naturels, prolonger la durée d'exploitation des carrières existantes et dans le même temps, réduire au maximum possible les volumes mis en décharge. Il est nécessaire de continuer les efforts de recherche dans le domaine de recyclage de ce type de déchets. Bénéfique sur le plan économique puisqu'il permet à l'industrie de la construction d'épargner les matières premières et l'énergie, la récupération de ces déchets est aussi favorable à l'environnement. Il faut qu'il existe une concertation entre les pouvoirs publics et l'industrie de la construction pour promouvoir l'emploi des matériaux recyclables. Les membres de l'industrie de la construction, de la réhabilitation et de la démolition sont tenus de bien comprendre les façons de réduire les déchets d'une manière rentable et dans le respect de l'environnement. Ces professionnels devraient :

- ❖ connaître le principe des 3R (réduire, réutiliser et recycler) ;
- ❖ comprendre les grands enjeux de la réduction des déchets, comment planifier la réduction des déchets et sa justification sur le plan économique ;
- ❖ être en mesure de diriger et de coordonner efficacement les activités de gestion des déchets ;
- ❖ dresser un plan de travail axé sur la réduction des déchets et mettre en œuvre un programme de tri à la source ;
- ❖ déterminer les sources d'information sur la réduction des déchets.

Notre projet traite un problème délicat qui est la méthodologie pour la bonne gestion des déchets de chantiers. Il est, par conséquent, urgent de prendre des mesures très importantes pour mobiliser les pouvoirs publics, les responsables de la construction et les habitants afin de mieux gérer les déchets de chantiers. Il est nécessaire de lancer sérieusement une véritable politique environnementale qui a pour but de protéger notre milieu environnemental. En s'appuyant sur l'expérience étrangère dans le domaine de gestion de ces déchets, nous avons conduit nécessaire de mener des recherches sur ce domaine dont le but de connaître la bonne gestion de ces déchets, en les quantifiant et en les gérant dans un cadre organisationnel et réglementaire et enfin proposer des solutions satisfaisantes en mesure d'assurer le tri, le recyclage et la valorisation.

Parmi les recommandations qui nous paraissent fondamentales :

- L'élaboration d'une sérieuse politique qui a pour but essentiel de mettre en place une nouvelle gestion des déchets de chantiers.
- Encourager le tri des déchets sur leur lieu de production en mettant en place sur l'ensemble des communes des plates-formes de regroupement des déchets de chantiers.
- Choisir des matériaux et des produits ou des techniques de construction qui faciliteront le tri dans les chantiers.
- Informer les entrepreneurs de construction et de démolition au sujet de la gestion des déchets et de la déconstruction sélective.
- Promouvoir les produits de recyclage dans le secteur de la construction, par des actions de sensibilisation et par des recherches favorisant le recyclage et la valorisation, techniquement et économiquement.
- Augmenter la durée de vie moyenne des matériaux et des produits de construction.
- Appliquer d'une manière plus efficace le principe « pollueur = payeur » et prendre les mesures juridiques et les procédures nécessaires pour que les taxes à la mise en décharge reviennent effectivement aux collectivités ayant en charge la protection de notre milieu environnemental.
- Impliquer les collectivités locales à participer dans les projets de développement de la protection de l'environnement.
- Inclure dans les cahiers de charges des clauses obligeant les entreprises de réalisation à trier leurs déchets et à les diriger vers les décharges contrôlées.
- Lancer des études au laboratoire qui traitent d'autres types de déchets de chantier, notamment les déchets de démolition.
- Réaliser des études économiques justifiant l'opération de recyclage des déchets de chantiers. Pour cela, il conviendrait de faire la balance entre les coûts du recyclage, les frais de démolition, de déchargement et de transport des débris vers des décharges de plus en plus éloignées et les coûts d'exploitation et de transport des granulats naturels
- Etudier la durabilité à long terme des murets réalisés à partir des granulats issus du concassage des déchets de chantiers.

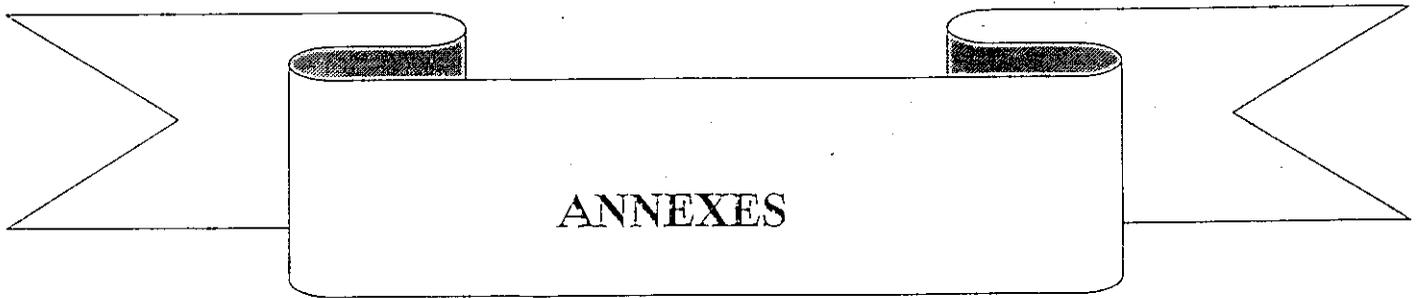
REFERENCES BIBLIOGRAPHYQUES

- [1] **Desmyler. J & DeCuyper. K** : Règles d'or pour la construction durable. CSTC magazine. Pratique, été 2000, PP. 15 – 27.
- [2] Les bétons et produits de démolition recyclés. Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux. D'Ile de France, décembre 1996.
- [3] **Queband.M, Courtial.M & Buyle-Bodin.F** : Le recyclage des matériaux de démolition. Matériaux et structure Travaux, n° 721, juin 1996, PP. 65 – 72.
- [4] **Bauchard. M & Joubert. JP** : Utilisation en technique routière de granulats provenant du concassage de béton de démolition. LCPC, Nice, n° 134, novembre – décembre 1984, PP. 53 – 57.
- [5] **Scheim.A, Muller. & Tasheva.E** : Genre et déchets. Un groupe de discussion électrique. Programme d'expertise des déchets urbains (UWEP), info route de waste, 9 – 31 mars 1998. [http:// www.waste.nl](http://www.waste.nl).
- [6] **Soinneau. A** : Bâtir avec l'environnement. Commission environnementale de la Fédération Française du Bâtiment. <http://www.environnement-fr.com>.
- [7] **Graff. M** : Utilisation des déchets dans le Génie civil. Conférence ENPC (France) du 19 au 21 octobre 1999.
- [8] **Rousseau.E** : Possibilités d'utilisation des matériaux recyclés dans le secteur de la construction. CSTC magazine. Recherches et études, été 2002, PP 3 – 10.
- [9] Extrait du plan Wallon des déchets. Horizon 2010, adopté par le gouvernement Wallon, le 15 janvier 1997. <http://www.ahln.be/Decharge>.
- [10] **Pierdet. JC** : Et le bâtiment devient durable. Environnement magazine, n° 1550, septembre 1996, PP. 33 – 36.
- [11] **Clicquot. C** : Bien gérer les déchets de chantier. Environnement, n° 1583, décembre 1999 – janvier 2000, PP. 30 – 37.
- [12] Valorisation et élimination des différents types de déchets de construction et de démolition. Guide de gestion des déchets de construction – démolition. Belgique.
- [13] **Ruch. M, Schultman. F, Remtz. O & Bollman. M** : La déconstruction sélective, une expérimentation en Allemagne. Cahiers du CSTB, livraison 357, mars 1995. Cahiers 2787.
- [14] **Morgat. B** : Une circulaire pour la planification de la gestion des déchets de chantier du BTP. Environnement et Technique, n° 198, juillet – août 2000, PP. 32 – 34.
- [15] **Charlot. C** : Législation, réglementation et pratiques en matière de déchets de chantier en Suisse. Cahier du CSTB, livraison 359, mai 1995. Cahier 2804.
- [16] Les résidus de construction et de démolition. Plan d'action québécois sur la gestion des matières résiduelles, 1998 – 2008. http://www.menv.gouv.qc.ca/matiers/mat_res/fiches/fiche-const.htm.
- [17] Environmental life cycle assesment. Environmental council of concrete organizations research, 1997.
- [18] **Bonanni. Mc & Serra. GG** : Guidelines for research in management and recycling of construction wastes. November 23rd and 24th, 2000, Sao. Paulo, Brazil. Construction et environnement.
- [19] **Ruchet. M & Vimond. E** : Déconstruction sélective : expérimentation à Mulhouse. CSTB magazine n° 101, janvier – février 1997, PP. 44 – 50.
- [20] Gestion des déchets dans le domaine du bâtiment. DFIU/IFARE. Antenne de Karlsruhe, Allemagne – France. <http://www.iip.wiwi.Uni-Karlsruhe.de>.
- [21] Estimation prédictive et gestion des déchets dans le bâtiment. Le logiciel ECO_Live déchets de chantier. [http. // pro.wanadoo.fr/adatir](http://pro.wanadoo.fr/adatir).

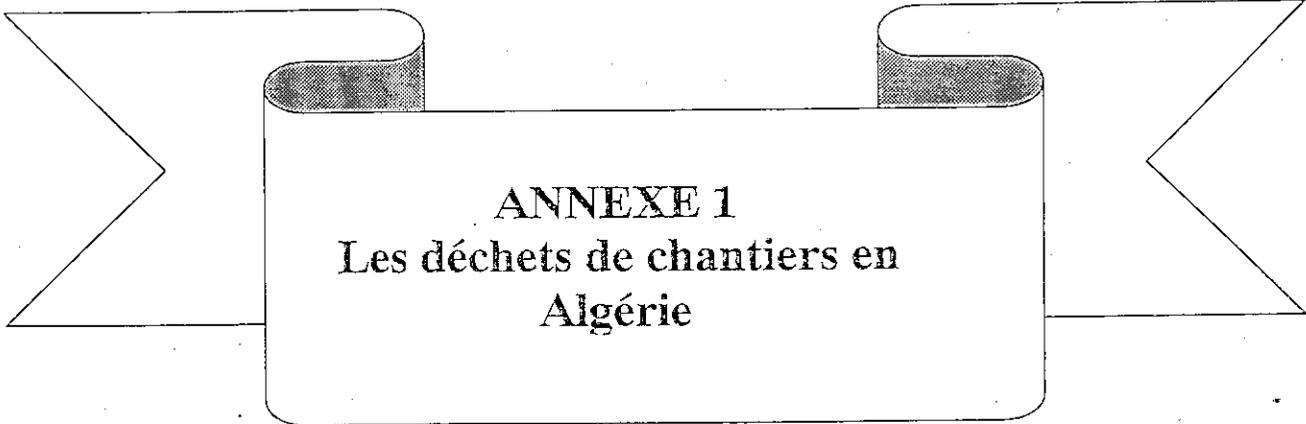
- [22] **Dr Schenk. K** : Valorisation and recycling of construction demolition wastes in Switzerland Basic principales – Regulation – Perspectives. Federal office of environnement 1997, PP 199 – 205.
- [23] **Loranger. F** : Caractérisation de matériaux recyclés (béton, enrobés et fondations granulaires) et évaluation de leur performance dans les bétons conventionnels et compactés au rouleau. Mémoire présenté à la faculté des études supérieures pour l'obtention du grade de maître des sciences. Université Laval, Canada mars 2001.
- [24] **Motteu. H & Rousseau. E** : Le remploi des déchets dans l'industrie de la construction. CSTC magazine. Pratique, été 1992, PP. 21 – 29.
- [25] **Rousseau. E & Legrand. C** : Le recyclage des matériaux de démolition dans l'Union européenne. CSTC magazine, automne 1995, PP. 13-21.
- [26] Recycling concrete and masonry. Environmental Council of concrete – organizations. Information, 1997. <http://www.bcrmca.bc.ca/GreenBuildingReport.pdf>.
- [27] **Canela. D & Chevet. H** : Le recyclage-concassage des matériaux minéraux issus de démolition en Belgique et au Royaume – Unie. Cahier du CSTB, livraison 360, juin 1996, cahier 2814.
- [28] **Lomberty. M & Oger. P** : Dossier «Valorisation des déchets ». Revue générale des routes et des aérodromes, n°729, mai 1995.
- [29] **RILEM** : Unified specifications for recycled coarse aggregates for concrete. RILEM. TC 121-DRG, 1993.
- [30] **Hansen. TC**, : Recycled aggregates and recycled aggregates concrete. Third State-of-the art report 1945-1989. Building Materials Laboratory, PP. 1 – 160.
- [31] **Vasquez. E** : Recycling of aggregates in the construction industry. Construction and Environment, november 23rd and 24th 2000 Sao Paulo, Brazil.
- [32] **Desmyter. J, Blockmans. S & DePauw. P** : Granulats de débris et béton recyclé. Résultats et développement récentes. Partie 2 «béton recyclé ». CSTC magazine. Recherches et études, automne 1999, PP. 11 – 19.
- [33] **Ridgley. H** :Riding the construction and demolition wave in California. Waste Age 29 (6), juin 1998, PP. 108 – 115.
- [34] **Rubaud. M** : Recyclage et valorisation des déchets des matériaux minéraux utilisés dans la construction. Cahier CSTB, livraison 355, décembre 1994, cahier 2773.
- [35] **McQuhae. J** : Le traitement des déchets des produits à base de plâtre. Ciment, Bétons, Plâtres, Chaux, n° 815, 4 / 95, (d'après une conférence présentée au Congrès Eurogypsum, Bruxelles, avril 1995), PP. 254 – 256.
- [36] **Butenwizer. I & Favennec . M** : Le recyclage-concassage des matériaux minéraux issus de la démolition au Danemark et aux Pays-Bas. Cahier du CSTB, avril 1995, livraison 2794.
- [37] **DePauw.C** : Béton recyclé. CSTC revue n°2, Bruxelles, juin 1982, PP 2 – 15.
- [38] **Topçu.IB** : Physical and mechanical properties of concrete produced with waste concrete. Cement and Concrete Research, vol 27, n°12, 1997, PP 1817 – 1823.
- [39] **Cauchot. J & Charonnat. Y** :Recyclage du béton diffus, dossier «Recyclage». Revue générale des routes et des aérodromes, n° 712, novembre 1993, PP. 42 –45.
- [40] **Devenny. A & Khalaf. FM** :The use of crushed brick as coarse aggregate in concrete. Masonry International, vol 12, n°3, 1999, PP. 81 – 84.
- [41] **Schuur. H M L** :Calcium silicate products with crushed building and demolition waste. Journal of materials in Civil Engineering, novembre 2000, PP. 282 – 286.
- [42] Profil de l'Algérie application d'action 21, examen des progrès accomplis depuis la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, 1992. <http://www.algeria.com>.
- [43] La loi n°83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement. Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, n°6 du 5 février 1983.

- [44] La loi du 15 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets. Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire, n°77 du 15 décembre 2001.
- [45] Revue Habitat et Construction, avril 1999.
- [46] Etude comparative des éléments de maçonnerie. Etude réalisée par le CNERIB, Alger et conventionnée par le ministère de l'habitat, 1999 - 2000.
- [47] Conception des logements économiques. Etude réalisée par le CNERIB, Alger et conventionnée par le ministère de l'habitat, 1997 - 2000.
- [48] Qualité des bétons dans les régions centre du pays. Etude réalisée par le CNERIB, Alger et conventionnée par le ministère de l'habitat, 1996 - 1999.
- [49] **DePauw. C** : Recyclage des décombres d'une ville sinistrée. CSTC revue, n° 4, décembre 1982, PP. 12-29
- [50] **Debieb.F** : Valorisation des déchets de brique et béton de démolition comme agrégats de béton. Université de Blida. Institut de Génie Civil, 1999. Thèse de magistère.
- [51] **Allal. M & Sayagh. C** : Recyclage des déchets de construction en voiries. Université de Tlemcen. Département de Génie Civil. D'après une conférence présentée au 3^{ème} congrès algérien de la route. ARAL, Alger «hôtel El- Aurassi », 18/19/20 mars 2001, PP. 102 – 107.
- [52] Norme Française : Méthode d'essai des ciments – Analyse chimique des ciments, AFNOR, Paris, mars 1990.
- [53] Norme Française : Méthode d'essai des ciments – Détermination des résistances mécaniques, AFNOR, Paris, mars 1990.
- [54] Norme française. Liants hydrauliques. Définition, classification et spécifications des ciments, AFNOR, Paris, décembre 1981.
- [55] Norme Française. Granulats. Analyse granulométrique par tamisage, AFNOR, Paris, 1990.
- [56] **Hancen.TC** : Recycling of demolished concrete and masonry. Rilem Report n°06, London, F & FN, Spon 1992.
- [57] Norme Française : Granulats. Mesure du coefficient de friabilité des sables, AFNOR, Paris, décembre 1990.
- [58] Norme Française : Mesures des masses volumiques, coefficients d'absorption et teneur en eau des sables, AFNOR, Paris, décembre 1990.
- [59] Norme Française : Granulats. Equivalent de sable, AFNOR, Paris, septembre 1998.
- [60] Norme Française : Granulats. Mesure des masses volumiques, de la porosité, de coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux, AFNOR, Paris décembre 1990.
- [61] Norme Française : Granulats. Détermination de la propreté superficielle, AFNOR, Paris, septembre 1990.
- [62] Norme Française : Granulats. Essai de Los Angeles, AFNOR, Paris, septembre 1990.
- [63] Norme Française : Granulats. Définitions, conformité, spécifications, AFNOR, Paris, octobre 1997.
- [64] Norme Européenne : Détermination des résistances mécaniques, AFNOR, Paris, mars 1999.
- [65] Norme Française : Technique des essais. Caractérisations des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des mortiers, juin 1987.
- [66] Norme Française : Béton. Mesure du temps d'écoulement des bétons et des mortiers aux maniabilimètres, AFNOR, Paris, mai 1988.
- [67] Norme Européenne : Méthodes d'essai, partie 5. Détermination de l'absorption capillaire, novembre 1995.
- [68] Norme Française : Technique des essais. Essai de retrait et de gonflement, AFNOR, Paris, juillet 1963.
- [69] **Pimienta. P & Delmotte. P** : Blocs de construction en granulats recyclés. CSTB magazine, n° 109, novembre 1997, PP 30 – 32.

- [70] Norme Française : Agglomérés. Blocs en béton de granulats courants pour murs et cloisons, AFNOR, Paris, septembre 1983.
- [71] Norme Française : Granulats. Granulats naturels pour béton hydraulique, AFNOR, Paris, décembre 1983.
- [72] Norme Française : Granulats. Granulats pour bétons hydrauliques, mai 1994.
- [73] Norme Française : Granulats. Vocabulaire- Définitions et Classifications, AFNOR, Paris, décembre 1990.
- [74] Norme Belge : Matériaux de maçonnerie. Prescriptions relatives aux matériaux de maçonnerie en béton. Bruxelles, Belgique, IBN, 2^{ème} édition 1982.
- [75] Pollet. V & Loutz. S : Blocs de maçonnerie à base de granulats recyclés. CSTC magazine, été 1997, PP 12 – 20.
- [76] Dreux. G & Festa. J : Nouveau guide du béton, 8^{ème} édition, édition Eyrolles, 1995, 1998, Paris.
- [77] Norme Française : Béton – Essais d'affaissement, AFNOR, Paris, décembre 1981.
- [78] Norme Française : Agglomérés. Blocs en béton de granulats courants pour murs et cloisons. Dimensions, AFNOR, Paris, septembre 1983.
- [79] Norme Française : Béton. Caractéristiques communes des machines hydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs, AFNOR, Paris, décembre 1981.
- [80] Norme Française : Agglomérés. Blocs en béton de granulats courants pour murs et cloisons. Définitions, AFNOR, Paris, septembre 1983.
- [81] Lehembre. B : Guide des métiers du bâtiment. L'isolation et l'étanchéité. Edition Nathan, 1997 Paris.
- [82] Boussard. S, El Bakkouri. A & Ezbakhe. H : comportement thermique de la terre stabilisée au ciment. Revue Française de génie Civil, vol 5, n° 4, 2001, PP. 505 – 515.



ANNEXES



ANNEXE 1
Les déchets de chantiers en
Algérie

Questionnaire

- 1) Quel est le nombre de décharges gérées par votre chef-lieu de wilaya?
- 2) Pour une décharge donnée, quelle est l'estimation (approximative) journalière ou mensuelle de déchets versés (par type de déchets) ?
 - Déchets municipaux (déchets ménagers et assimilés)
 - Déchets de construction et de travaux publics Déchets industriels
- 3) Existe-t-il dans votre chef-lieu de wilaya une décharge pour les déchets de construction et une décharge pour les déchets ménagers ?

Oui

Non

Pour les besoins de l'étude, la suite du questionnaire portera uniquement sur les déchets de chantier (déchets issus du bâtiment et des travaux publics)

- 4) Dans quelles proportions se trouvent les déchets de chantier versés dans la décharge destinée pour ces type de déchets ?
 - Secteur du bâtiment en %
 - Secteur des travaux publics (asphalte) en %
 - La mise en décharge des déchets de chantier est —elle effectuée par:
 - Des transporteurs spécialisés
 - Les producteur eux-mêmes de déchets
 - Les services de la commune ou wilaya
- 5) Existe-t-il une procédure de collecte ou d'organisation des déchets de construction ou de démolition dans votre wilaya?

Oui

Non

- 6) Si oui, est-ce-que le tri des déchets s'effectue?

- Au niveau de la décharge?
- A la source?
- Nul part?

- 7) Avez-vous établi des mesures d'imposition ou de taxation sur la mise en décharge des déchets de construction?

Oui

Non

- 8) Existe-t-il un formulaire de déclaration de déchets?

9) Les décharges existantes dans votre chef-lieu de wilaya sont-elles:

- Contrôlées?
- Semi-contrôlées?
- Sauvages

- VOS REMARQUES ET SUGGESTIONS :

.....

.....

.....

.....

.....

FICHES DE SUIVI RENSEIGNEES
POUR LA DECHARGE DE STAOUELI

Tableau.3 Situation de la décharge dans la journée du 02.07.2000

TYPE DE DECHETS	CAMION N°1 (3T)	CAMION N°2 (3T)	CAMION N°3 (3T)	CAMION N°4 (3T)	CAMION N°5 (3T)	TOTAL EN TONNE
	Production Et (%)					
Béton armé ou non armé						0.00
Débris de maçonnerie (Parpaing et brique)	0.30 (10)					0.30
Terre d'extraction et gravats	0.30 (10)					0.30
Pierre naturelle	0.30 (10)	0.30 (10)			1.20 (40)	1.80
Bois	0.15 (5)	2.4 (80)	1.20 (40)		0.9 (30)	4.65
Métal	0.15 (5)					0.15
Bitume asphalte			1.50 (50)	0.90 (30)		2.40
Plâtre						0.00
Céramique tuile						0.00
Plastique	0.15 (5)	0.30 (10)	0.30 (10)	2.10 (70)	0.60 (20)	3.45
Papier	0.15 (5)				3.50 (10)	0.45
Autres	1.50 (50)					1.50
Total						15.00

Tableau. 4 Situation de la décharge dans la journée du 03.07.2000

TYPE DE DECHETS	CAMION N°1 (3T)	CAMION N°2 (10T)	CAMION N°3 (3T)	CAMION N°4 (3T)	CAMION N°5 (10T)	TOTAL EN TONNE
	Production Et (%)					
Béton armé ou non armé						0.00
Débris de maçonnerie (Parpaing et brique)		4.00 (40)		0.30 (10)	2.00 (20)	6.30
Terre d'extraction et gravats					1.00 (10)	1.00
Pierre naturelle	3.00 (100)		3.00 (100)			6.00
Bois		4.00 (40)		0.90 (30)	3.00 (30)	7.90
Métal					1.00 (10)	1.00
Bitume asphalte						0.00
Plâtre						0.00
Céramique tuile				1.50 (50)		1.50
Plastique		2.00 (20)			2.00 (20)	4.00
Papier				0.30 (10)	1.00 (10)	1.30
Autres						0.00
Total						29.00

Tableau.5 Situation de la décharge dans la journée du 04.07.2000

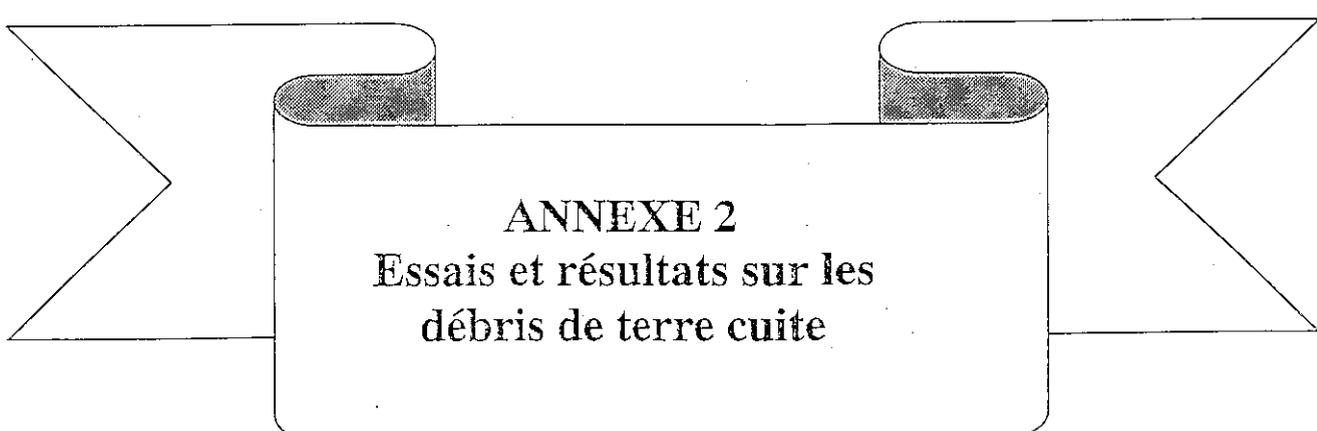
TYPE DE DECHETS	CAMION N°1 (3T)	CAMION N°2 (3T)	TOTAL EN TONNE
	Production Et (%)	Production Et (%)	
Béton armé ou non armé			0.00
Débris de maçonnerie (Parpaing et brique)		0.30 (10)	0.30
Terre d'extraction et gravats	0.60 (20)		0.60
Pierre naturelle		0.15 (15)	0.15
Bois		0.15 (5)	0.15
Métal	0.30 (10)	0.15 (5)	0.45
Bitume asphalte		0.15 (5)	0.15
Plâtre	0.30 (10)		0.30
Céramique tuile			0.00
Plastique	1.20 (40)	0.30 (30)	1.50
Papier	0.60 (20)	1.20 (40)	0.72
Autres			0.00
Total			4.32

Tableau.6 Situation de la décharge dans la journée du 05.07.2000

TYPE DE DECHETS	CAMION N°1 (3T)	TOTAL EN TONNE
	Production Et (%)	
Béton armé ou non armé		0.00
Débris de maçonnerie (Parpaing et brique)		0.00
Terre d'extraction et gravats		0.00
Pierre naturelle	2.10 (70)	2.10
Bois	0.30 (10)	0.30
Métal		0.00
Bitume asphalte		0.00
Plâtre		0.00
Céramique tuile		0.00
Plastique	0.60 (20)	0.60
Papier		0.00
Autres		0.00
Total		3.00

Tableau.7 Situation de la décharge dans la journée du 06.07.2000

TYPE DE DECHETS	CAMION N°1 (3T)	CAMION N°2 (3T)	CAMION N°3 (3T)	CAMION N°4 (3T)	CAMION N°5 (3T)	CAMION N°6 (3T)	CAMION N°7 (3T)	TOTAL EN TONNE
	Production Et (%)	Production Et (%)	Production Et (%)	Production Et (%)			Production Et (%)	
Béton armé ou non armé				0.30 (10)				0.30
Débris de maçonnerie (Parpaing et brique)				0.90 (30)	0.60 (20)			1.50
Terre d'extraction et gravats					0.30 (10)	1.20 (40)		1.50
Pierre naturelle			0.90 (30)	0.60 (20)	1.20 (40)			2.70
Bois	0.30 (10)	2.10 (70)		1.20 (40)	0.30 (10)	0.30 (10)	3.00 (100)	4.50
Métal			0.30 (10)					0.30
Bitume asphalte		0.60 (20)						0.60
Plâtre								0.00
Céramique tuile								0.00
Plastique	1.50 (50)	0.30 (10)	0.60 (20)		0.30 (10)	0.90 (30)		3.60
Papier	1.20 (40)		1.20 (40)		0.30 (10)	0.60 (20)		3.30
Autres								0.00
Total								18.30



ANNEXE 2
Essais et résultats sur les
débris de terre cuite

Type de bloc	N° de bloc	Masse volumique apparente Kg/m ³	
		7 jours	28 jours
Bloc témoin (B _T)	1	1097	1091
	2	1100	1092
	3	1120	1095
Bloc recyclé (B _R)	1	758	752
	2	762	751
	3	757	749

Tableau. 1 Masses volumiques apparentes pour chaque bloc et pour chaque type du mélange

Type de bloc	N° de bloc	Résistance à la compression MPa	
		7 jours	28 jours
Bloc témoin (B _T)	1	2.74	4.48
	2	1.97	4.43
	3	2.39	4.45
Bloc recyclé (B _R)	1	2.29	4.42
	2	2.07	4.40
	3	1.75	4.39

Tableau. 2 Résistance à la compression pour chaque bloc et pour chaque type du mélange