

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلكايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : GENIE CIVIL

Spécialité : **Efficacité Énergétique dans le Bâtiment**

Présenté par

HASSAINE Malik et METALSI-TANI Zakaria

Thème

**UTILISATION DES DECHETS TEXTILES et CARTON DANS
L'ISOLATION**

Soutenu publiquement, le 30 /09 /2021, devant le jury composé de :

SELKA Ghouti	<i>Maître de conférences</i>	Univ. Tlemcen	Président
KHELIFI Zakia	<i>Maître de conférences</i>	Univ. Tlemcen	Encadrante
TALEB Omar	<i>Maître de conférences</i>	Univ. Tlemcen	Encadrant
BENACHENHOU Kamila	<i>Maître de Conférences</i>	Univ. Tlemcen	Examinatrice

Remerciements

Ce projet a été élaboré au sein du laboratoire matériaux de construction de la faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid, Tlemcen.

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'intervention de plusieurs personnes.

Tout d'abord, nous adressons nos remerciements à nos encadrants Dr Zakia Khelifi et Dr Omar Taleb pour la confiance et le soutien qu'ils nous ont accordés tout le long de ce travail. Nous les remercions pour le partage de leur savoir, leur modestie et leurs précieux conseils qui ont conduit au succès cette étude.

Nous tenons à remercier les membres de jury : Dr Kamila Benachenhou et Dr Ghouti Selka d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous adressons nos remerciements à M. Mustapha Hanaoui (Ingénieur du laboratoire Matériaux de Construction de la faculté de technologie, Université de Tlemcen) pour son amabilité, son aide et sa contribution dans la progression et l'achèvement des essais expérimentaux. Nous avons travaillé ensemble sans compter les heures.

Nous tenons aussi à remercier tous les enseignants du département de Génie Civil, qui nous ont suivi durant notre formation.

Nous adressons nos vifs remerciements à nos familles qui nous ont soutenus et encouragés.

Nous remercions plus précisément, nos parents, nos grands-parents et nos frères.

Leurs prières et leurs encouragements, nous ont aidé à surmonter tous les obstacles.

Nous tenons à remercier tous nos amis ainsi que tous les étudiants de la promotion (2020-2021).

Résumé

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous avons tenté d'évaluer l'effet d'ajout des déchets sur les performances d'un mortier par la substitution volumique jusqu'à 20% pour le mortier en papier et jusqu'à 2% pour le mortier en textile, du mélange sable plus ciment. Une fois les mortiers confectionnés (mortier - papier/textile), ils sont soumis à différents essais thermiques et phoniques. Cette étude a nécessité une caractérisation des matériaux utilisés. C'est une étape indispensable pour la formulation de notre mortier de référence. La composition de ce dernier est déterminée selon des essais normalisés. Nous avons effectué dans un premier temps, une variation des pourcentages de déchets. La substitution du sable - ciment a été effectuée selon les pourcentages 1 et 2% pour textile ; 10,15 et 20% pour le papier. L'ensemble de ces formulations ont permis la confection des plaques qui ont servies par la suite à la réalisation des différentes enceintes. Ensuite des essais expérimentaux ont été réalisés sur ces éprouvettes afin d'étudier leurs comportement thermique et phonique. Cette démarche expérimentale a permis d'appréhender l'effet des différents ajouts utilisés sur le comportement thermique et phonique des éprouvettes du mortier.

Mots clés : mortier, textile, carton, papier, résistance thermique, résistance phonique.

الملخص

كجزء من مشروع نهاية الدراسة هذا، حاولنا تقييم تأثير إضافة النفايات على أداء الملاط من خلال استبدال الحجم بنسبة تصل إلى 20% ملاط الورق وما يصل إلى 2% ملاط النسيج بالإضافة إلى خليط الأسمنت والرمل. بمجرد أن تصبح الملاط جاهزة (ملاط - ورق / نسيج)، فإنها تخضع لاختبارات حرارية وصوتية مختلفة. تتطلب هذه الدراسة توصيف المواد المستخدمة. هذه خطوة أساسية في صياغة الهاون المرجعي الخاص بنا. يتم تحديد تكوين الأخير وفقاً لاختبارات موحدة. قمنا أولاً بإجراء تغيير في النسب المئوية للنفايات. تم استبدال الرمل - الأسمنت بالنسب المئوية 1 و 2% للمنسوجات؛ 10.15 و 20% للورق. كل هذه التركيبات جعلت من الممكن صنع الألواح التي استخدمت لاحقاً لصنع مختلف السطوح المتوازية. ثم أجريت اختبارات تجريبية على هذه العينات لدراسة سلوكها الحراري والصوتي. مكن هذا النهج التجريبي من فهم تأثير الإضافات المختلفة المستخدمة على السلوك الحراري والصوتي لعينات الملاط.

الكلمات المفتاحية: ملاط ، نسيج، كرتون، ورق، مقاومة حرارية، مقاومة صوت.

Abstract

As part of this end of studies project, we tried to evaluate the effect of adding waste on the performance of a mortar by volume substitution up to 20% for paper mortar and up to 2% for the textile mortar, of the sand plus cement mixture. Once the mortars are ready (mortar - paper / textile), they are subjected to various thermal and sound tests. This study required a characterization of the materials used. This is an essential step in the formulation of our reference mortar. The composition of the latter is determined according to standardized tests. We first carried out a variation in the percentages of waste. The substitution of sand - cement was carried out according to the percentages 1 and 2% for textiles; 10.15 and 20% for paper. All of these formulations made it possible to make the plates which were subsequently used to make the various parallelepipeds. Then experimental tests were carried out on these specimens in order to study their thermal and sound behavior. This experimental approach made it possible to understand the effect of the various additions used on the thermal and sound behavior of the mortar specimens.

Keywords: mortar, textile, cardboard, paper, thermal resistance, sound resistance.

Table des matières

liste des symboles.....	x
Liste des figures.....	xii
Liste des tableaux	xv
Introduction générale.....	1
Chapitre I. Concept énergétique dans la construction	2
I.1. Introduction.....	2
I.2. Développement durable	2
I.3. Consommation énergétique.....	3
I.4. Participation énergétique du secteur résidentiel.....	4
I.5. La réglementation thermique Algérienne dans le bâtiment	5
I.6. L'isolation thermique dans les bâtiments.....	5
I.6.1. Vérification d'hiver.....	6
I.6.2 vérification d'été	7
I.7. Type et matériaux d'isolation.....	7
I.7.1. Isolation par l'intérieur.....	8
I.7.2. Isolation par l'extérieur	8
I.7.3. Isolation intégrée au matériau porteur.....	8
I.8. Cycle de vie d'un matériau	8
I.9. L'énergie grise	9
I.10. Modes de transfert de chaleur	10
I.10.1. Transfert par conduction	11
I.10.2. Transfert par convection	11
I.10.3. Transfert radiatif	12
I.11. Transferts de chaleur dans les milieux poreux	12
I.12. Méthodes de mesure de la conductivité thermique	13
I.12.1. Mesures en régime stationnaire.....	13
I.12.2. Mesures en régime transitoire	13
I.13. Résistance et conductivité thermique.....	14
I.13.1 La résistance thermique.....	14
I.13.2. La conductivité thermique ou lambda (λ)	15
I.13.3. L'épaisseur (e).....	15
I.14. Conclusion	15
Chapitre II. Déchets et matériau béton	16

II.1. Introduction.....	16
II.2. Généralité sur le Béton	16
II.2.1. Béton léger.....	18
II.2.2. Types des bétons légers	18
II.2.3. Béton fibrée	19
II.2.4. Béton carton (liant carton)	20
II.3. Propriété thermique et acoustique des bétons.....	20
II.3.1. Propriété thermique	20
II.3.2. Propriété acoustique.....	21
II.4. La brique.....	21
II.4.1. Brique de terre cuite.....	21
II.4.2. Brique en béton léger.....	22
II.4.3. Brique mono-mur.....	22
II.5. Définition d'un déchet	23
II.6. Type de déchets	23
II.6.1. Déchets spéciaux dangereux.....	23
II.6.2. Déchets d'activité de soin	23
II.6.3. Déchets ménager.....	24
II.6.4. Déchets industriels.....	24
II.7. Classification algérienne des déchets	24
II.7.1. Déchets ménagers et assimilés.....	24
II.7.2. Déchets inertes.....	24
II.7.3. Déchets spéciaux	25
II.8. Gestion des déchets en Algérie.....	26
II.9. Recyclage des déchets	26
II.9.1. L'impact du recyclage sur l'environnement	27
II.10. Valorisation des déches	27
II.11. Les déchets papier-carton	28
II.11.1. Gisement	29
II.11.2. Valorisation et recyclage du carton	29
II.12. Les déchets textiles	29
II.12.1. Gisement	30
II.12.2. Domaine d'utilisation du textile dans le bâtiment	30
II.12.3. Les avantages de l'utilisation des matériaux textiles dans la construction.....	31
II.12.4. Recyclage et valorisation du textile	32
II.13. Quelques études sur le comportement thermique et phonique du mélange mortier - déchets..	32

II.14. Conclusion	34
Chapitre III. Matériaux et méthodes.....	35
III.1. Introduction	35
III.2. Caractérisation des matériaux.....	35
III.2.1. L'eau.....	35
III.2.2. Ciment	36
III.2.3. Déchet carton.....	37
III.2.4. Déchet textile.....	38
III.2.4. Granulats minéraux	38
III.2.4.1. Analyse granulométrique des granulats.....	38
III.2.4.2. Masses volumiques.....	39
III.3. Formulation des mortiers.....	40
III.3.1. Mortier de référence	41
III.3.2. Mortier de textile	41
III.3.3. Mortier de papier	42
III.4. Confection des enceintes	42
III.4.1. Enceinte en mortier de référence.....	44
III.4.2. Enceinte en mortier de textile.....	45
III.4.3. Enceinte en mortier de papier.....	47
III.4.4. Assemblage des enceintes	48
III.5. Essai thermique et sonore.....	49
III.5.1. Essais thermiques	49
III.5.2. Essais sonores :.....	51
III.6 Conclusion.....	52
Chapitre IV : Résultats et discussions	54
IV.1. Introduction	54
IV.2. Résultats des essais thermiques.....	54
IV.2.1. Mortier de référence	54
IV.2.2. Mortier avec textile	56
IV.2.3. Mortier avec papier	57
IV.3. Résultats des essais sonores	59
IV.3.1 Mortier simple.....	59
Tableau IV.4 : les résultats sonores pour le mortier de textile	59
IV.3.2 Mortier avec textile	59
Tableau IV.5 : les résultats sonores pour le mortier de textile	59
IV.3.3 Mortier avec papier	59

Tableau IV.6 : les résultats sonores pour le mortier de papier	59
IV.3.4 A vide	60
Tableau IV.7 : les résultats sonores à vide	60
IV.4. Interprétation des résultats	60
IV.4. 1. Partie thermique	60
IV.4. 2. Partie sonore	61
IV.5. Conclusion.....	61
Conclusion générale et perspectives.....	62
Références bibliographiques	63

Liste des symboles

D_T : les déperditions calorifiques par transmission (W/K)

D_{REF} : les déperditions de référence (W/K)

S : La surface (M^2)

A_{po} : les apports de chaleur par les parois opaques (W)

A_v : les apports de chaleurs par les parois vitrées (W)

$A_{réf}$: Apports de référence (W)

R : La résistance thermique ($eM^2.K/W$)

E : l'épaisseur de l'isolant en mètre (M)

λ : la conductivité thermique du matériau W/(M.K)

K : kelvin (unité de température)

W : watt (unité d'énergie)

M^2 : mètre carré (unité de surface)

M : mètre (unité de longueur)

Kg : kilogramme (unité de masse)

Mg : milligramme (unité de masse)

L : litre (unité de masse)

Méq : milliéquivalent (unité de mesure de la quantité de matière)

M.V abs : masse volumique absolue (kg/m^3)

M.V app : masse volumique apparente (kg/m^3)

M^3 : mètre cube (unité de volume)

E/C : rapport eau sur le ciment

Cm : centimètre (unité de longueur)

G : gramme (unité de masse)

Ml: millilitre (unité de masse)

°C : Celsius (unité de température)

Min : minute (unité de temps)

Db : décibel (unité de mesure de son)

Liste des figures

Figure I.1 : Consommation énergétique au niveau mondial (IEA, 2017).....	3
Figure I.2: Les plus grandes utilisations de l'énergie au monde par secteur (IEA, 2018).	4
Figure I.3 : répartition de la consommation finale d'énergie en Algérie par secteur d'activité (APRUE, 2015).....	4
Figure I.4 : Répartition des déperditions thermiques dans une maison (Zolpan).....	6
Figure I.5 : Les étapes du cycle de vie d'un matériau	9
Figure I.6 : les trois modes de transfert de chaleur.....	11
Figure II.1 : Composition d'un béton ordinaire.....	17
Figure II.2 : Béton ordinaire a l'état frais.....	17
Figure II.3 : Représentation schématique des différents types de béton léger (cerezo V, 2005).....	19
Figure II.4 : Modèle de composite à base des fibres (Rossi .P et al.1989).....	20
Figure II.5 : Brique en terre cuite	22
Figure II.6 : bloc de béton (parpaing).....	22
Figure II.7 : brique mono-mur.....	23
Figure II.8 : Illustration des différents déchets ménagers.....	24
Figure II.9 : Illustration des déchets inertes.....	25
Figure II.10 : Illustration des signes de déchet spéciaux.....	25
Figure II.11 : composition des déchets Algériens (German cooperation, 2014).....	28
Figure II.12 : Appareil de test ultrasonique Pundit-Lab.....	34
Figure III.1 : Caractérisation de la masse volumique apparente du ciment.....	36
Figure III.2 : déchets carton.....	37

Figure III.3 : immersion du déchet carton dans l'eau.....	37
Figure III.4 : déchet carton avant immersion dans l'eau.....	37
Figure III.5 : déchets textile issus de découpes des draps.....	38
Figure III. 6 : Déchets textile issus de découpes de couvertures.....	38
Figure III.7 : Courbes granulométriques des granulats.....	39
Figure III.8 : Essais de caractérisation physique des granulats testés, (a) Masse volumique apparente, (b) Méthode du ballon.....	39
Figure III.9 : ajout des déchets au mortier.....	40
Figure III.10 : enceinte en mortier.....	42
Figure III.11 : moule(1) 27.5cm*27.5cm*4cm.....	43
Figure III.12 : moule(2) 36cm*27.5cm*4cm.....	43
Figure III.13 : moule(3) 27.5cm*18cm*4cm.....	43
Figure III.14 : moule utilisé pour la face dotée d'une ouverture.....	44
Figure III.15 : assemblage d'enceinte.....	48
Figure III. 16 : thermocouple.....	49
Figure III.17: disposition des capteurs.....	49
Figure III.18 : méthode de placement des capteurs sur la face de l'enceinte.....	50
Figure III.19 : l'emplacement de la lampe dans le enceinte.....	50
Figure III.20 : prélèvement de la température intérieur.....	51
Figure III.21 : le sonomètre et la source sonore.....	51
Figure III.22: les différents emplacements de la source sonore par rapport a enceinte..	52
Figure III.23 : les différents emplacements de la source sonore sans l'enceinte.....	52
Figure IV.1 : courbe des résultats thermique pour mortier de référence.....	54

Figure IV.2 : courbe des résultats thermique pour mortier de textile.....56

Figure IV.3 : courbe des résultats thermique pour mortier de papier.....57

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Coefficients de référence.....	7
Tableau III.1 :Composition chimique de l'eau utilisée.....	35
Tableau III.2 : Masses volumiques du ciment CPJ-CEM II/A utilisées.....	36
Tableau III.3 :Coefficient d'absorption du carton.....	37
Tableau III.4 : Masses volumiques des granulats minéraux utilisés.....	40
Tableau III.5 : Composition d'un mètre cube de mortier de référence.....	41
Tableau III.6 : Composition d'un mètre cube de mortier textile.....	41
Tableau III.7 : Composition d'un mètre cube de mortier papier.....	42
Tableau III.8 : Composition pour moule (1) en mortier de référence.....	44
Tableau III.9 : Composition pour moule (3) en mortier de référence.....	44
Tableau III.10 : Composition pour moule (2) en mortier de référence.....	45
Tableau III.11 : Composition de la face 1 (moule (1)) en mortier avec 1% de tissu blanc.....	45
Tableau III.12 : Composition de la face 2 (moule (1)) en mortier avec 2% de tissu rouge.....	45
Tableau III.13 : Composition de la face 3 (moule (1)) en mortier avec 2% de tissu blanc.....	45
Tableau III.14 : Composition de la face 4 (moule (1)) en mortier avec 1% de tissu rouge.....	46
Tableau III.15 : Composition de la face (moule 2) en mortier avec 1% de tissu rouge ...	46
Tableau III.12 : Composition de la face (moule (3)) en mortier avec 1% de tissu.....	46
Tableau III. 17 : composition de la face 1et 2 (moule (1)) en mortier avec 15% de papier.....	47

Tableau III.18 : composition de la face 3 (moule (1)) en mortier avec 10% de papier...	47
Tableau III.19 : composition de la face 4 (moule (1)) en mortier avec 20% de papier..	47
Tableau III.20 : composition de la face (moule (3)) en mortier avec 10% de papier.....	47
Tableau III.21 : composition de la face (moule (2)) en mortier avec 20% de papier.....	47
Tableau IV.1 : les résultats thermiques pour les cinq faces du mortier de référence en fonction du temps.....	54
Tableau IV.2 : les résultats thermiques pour le mortier de textile.....	55
Tableau IV.3 : les résultats thermiques pour le mortier de papier.....	57
Tableau IV.4 : les résultats sonores pour le mortier de textile.....	58
Tableau IV.5 : les résultats sonores pour le mortier de textile.....	58
Tableau IV.6 : les résultats sonores pour le mortier de papier.....	58
Tableau IV.7 : les résultats sonores à vide.....	59
Tableau IV.8 : résultat moyenne des plaques.....	60

Introduction générale

De nombreux pays ont signé la politique de développement durable et ont ratifié le protocole de Kyoto sur les changements climatiques (Japon, 1997) et continuent à participer aux Conférences des Parties ¹(COP1) organisées à Marrakech, Maroc ¹(COP22, 2016), Bonn, Allemagne ¹(COP23, 2017) et récemment Katowioce (Katowioce) en Pologne ¹(COP24, 2018) sous les auspices des Nations Unies, afin de participer aux efforts mondiaux, cela inclut la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES).

D'une part l'Algérie insiste sur cette approche et promet de réduire sa consommation d'énergie jusqu'à 9% d'ici 2030. Cet engagement s'accompagne d'une série d'actions appartenant à la stratégie du gouvernement Algérien pour trouver les alternatives nécessaires dans les programmes quinquennaux qui se succèdent. Dans ce contexte, l'Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Énergie (APRUE) qui a pour mission principale, la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie à travers la promotion de l'efficacité énergétique, et a lancé des programmes spéciaux pour réduire la consommation des secteurs fortement énergivores.

D'autre part la gestion des déchets permet aussi de réduire les émissions de gaz à effet de serre, dans cette dynamique l'état encourage le développement de l'économie circulaire.

En vue de s'associer à cet effort national sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment, le présent travail, à dominance expérimentale, s'inscrit dans le cadre, des activités de recherche du laboratoire matériaux de construction dont l'un des sujets d'intérêts est l'étude et la promotion des éco-matériaux. Puisque le concept de l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel s'appuie sur l'isolation thermique des bâtiments. Notre travail est une contribution à l'utilisation des mortiers à base de déchets textiles et carton, en vue d'améliorer les performances thermiques et phoniques de l'enveloppe des habitations.

¹COP : Conférence des parties de la convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques (en anglais : Conference of Parties).

²GES :Gaz à Effet de serre.

Chapitre I. Concept énergétique dans la construction

I.1. Introduction

Aujourd'hui les constructions sont appelées à être efficaces en termes d'énergie à cause des changements climatiques, de plus l'énergie produite est consommée en grande partie par les ménages. Pour réduire l'impact énergétique de ces derniers, l'isolation thermique est une solution viable. La possibilité d'utiliser les déchets textiles et carton dans la confection de nouveaux matériaux isolants pour ces habitations peut fournir un aspect durable et écologique. Dans ce premier chapitre, nous introduisons d'abord les concepts de base liés au contexte de la recherche. Nous allons montrer pourquoi il est nécessaire d'utiliser l'énergie dans l'industrie de la construction afin d'améliorer l'efficacité énergétique en mettant l'accent sur les avantages de l'isolation thermique.

I.2. Développement durable

Pendant des décennies, le changement climatique est devenu une priorité des Nations Unies. Plusieurs experts estiment que la raison principale de ce changement est l'exploitation excessive des richesses de la terre, conduisant à l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Ces changements causent plusieurs dégâts tels que : les inondations, la sécheresse, les incendies de forêts...etc. La meilleure façon de remédier à ces phénomènes catastrophiques est de pouvoir trouver des solutions écologiques pour un développement économique croissant qui peuvent minimiser l'impact sur l'environnement. Le compromis de ces solutions est de maintenir un confort moderne tout en appliquant le principe de précaution souvent méconnu.

Plus précisément, le développement durable est une manière d'organiser la société pour qu'elle puisse exister longtemps. Cela signifie tenir compte des conditions nécessaires actuelles et futures, telles que la protection de l'environnement et des ressources naturelles ou l'égalité sociale et économique. La définition « officielle » du développement durable a été proposée pour la première fois dans le rapport Brundtland de 1987. C'est la solution la plus répandue depuis la prise de conscience à l'échelle internationale de la nécessité d'agir contre le désastre du changement climatique. « Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (**Brundtland, 1987**).

Ce concept est intimement lié au secteur le plus énergivore et le plus polluant (les ménages). Afin de réduire cette pollution et cette consommation d'énergie, le développement durable préconise l'utilisation d'énergies propres et renouvelables :

- L'énergie solaire,
- L'énergie éolienne,
- La géothermie (la chaleur de la terre),
- L'énergie biomasse (issue des matières organiques),
- L'énergie hydraulique (courant marin, les marées et les chutes d'eau).

I.3. Consommation énergétique

Après l'année 1945 (fin de la Seconde Guerre mondiale), la population a triplé en 50 ans passant de 2 à 6 milliards. Assurer les besoins et le confort des citoyens demande de plus en plus d'énergie. Le rapport du World Wide Fund for Nature (**Fund, 2010**) prouve que dans un certain laps de temps nous consommons 20% de ressources de plus que la terre n'en produit (**Figure I.1**).

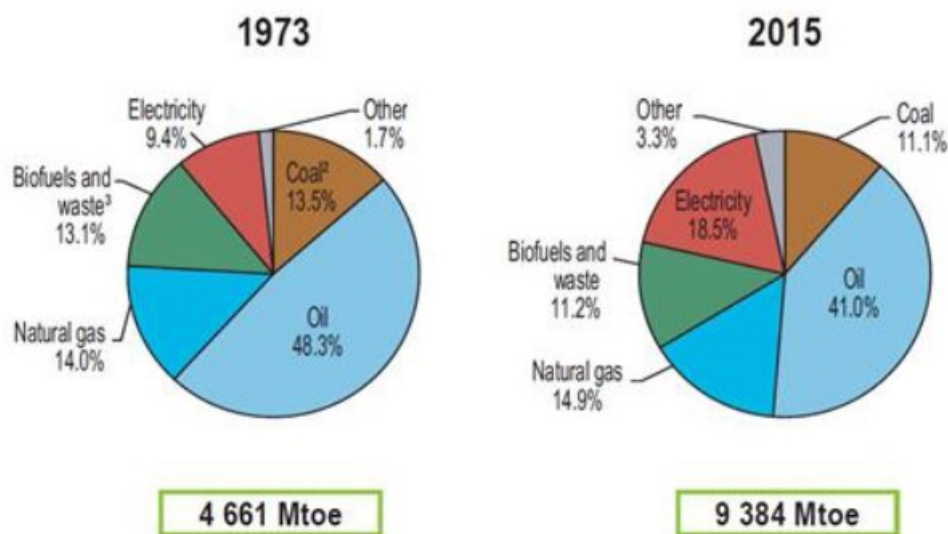


Figure I.1 : Consommation énergétique au niveau mondial (IEA, 2017).

L'Algérie est confrontée aujourd'hui à l'augmentation de la consommation interne d'énergie. De 2004 à 2014, la consommation d'énergie a doublé, passant de 31.2 MTep à 52 MTep. La même tendance haussière est observée pour la production d'énergie électrique qui a augmenté pour la même période de 30.9 Téra watt-heures à 64.2 Téra watt-heures avec un taux de croissance de 7 % par an (**Statistical Review of World Energy, 2015**).

I.4. Participation énergétique du secteur résidentiel

Selon IEA (2018) le secteur résidentiel représente à lui seul 22% de la consommation énergétique ce qu'il lui donne un important potentiel d'économie d'énergie au niveau mondial (IEA).

Avec une telle consommation, le secteur du bâtiment prend la troisième place dans le classement des secteurs énergivores après le secteur industriel et celui du transport qui représentent 37 et 29% de la consommation totale, respectivement (Figure I.2).

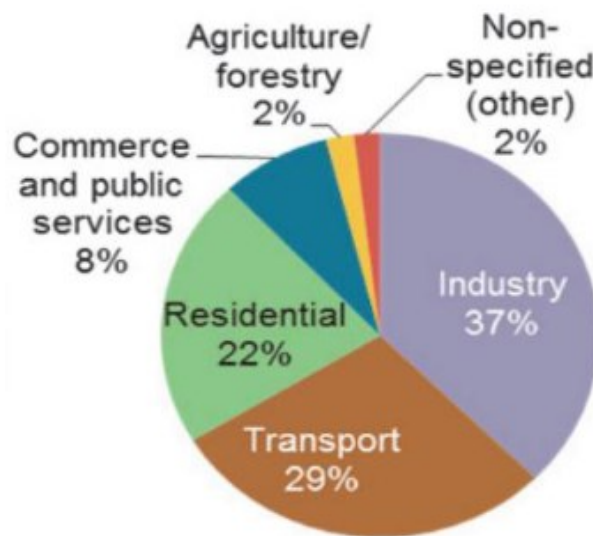


Figure I.2: Les plus grandes utilisations de l'énergie au monde par secteur (IEA, 2018)

Au niveau national, l'APRUE rapporte que la consommation énergétique des différents secteurs d'activité est différente qu'au niveau mondial car le secteur tertiaire prend la deuxième place avec 36% de la consommation d'énergie finale après les transports avec un taux de 41% (APRUE, 2015) (Figure I.3).

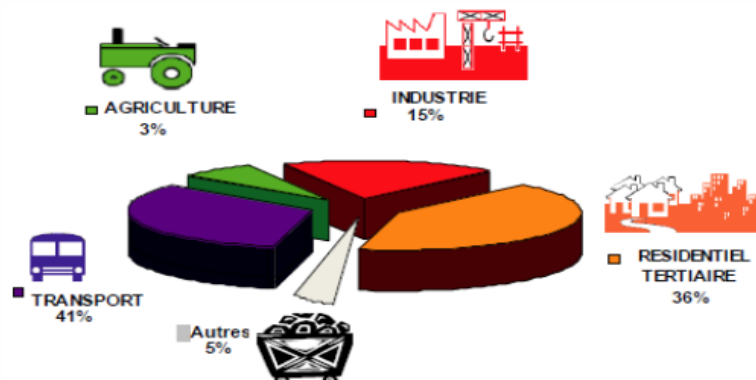


Figure I.3 : Répartition de la consommation finale d'énergie en Algérie par secteur d'activité (APRUE, 2015)

Dans de nombreux pays, la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment est responsable de 25 à 40 % de la consommation totale d'énergie (**Lukas, 2009**). C'est pour cette raison que l'amélioration de l'efficacité énergétique dans ce secteur est aujourd'hui un objectif primordial dans la stratégie énergétique des différents pays. En raison d'une forte urbanisation et de la croissance du parc immobilier Algérien, la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment résidentiel a considérablement augmenté.

I.5. La réglementation thermique Algérienne dans le bâtiment

En 1999, le ministre de logement et de l'urbanisme a créé le premier code énergétique Algérien dans le bâtiment afin de réduire la consommation énergétique dans le chauffage de 20% à 30 %. Ce code est composé de deux parties DTR C3.2 pour l'hiver et DTR C3.4 pour l'été (**Cnerib, 1997**).

En 2015 une version révisée de cette réglementation est élaborée, avec comme principales modifications (**Cnerib, 2016**).

- Rassembler les deux parties du document en une seule partie ;
- Renforcer les exigences ;
- Définir les nouvelles zones.

La réglementation thermique Algérienne dans le bâtiment est maintenant appelée DTR C3.2/4 et elle vise à vérifier la conformité du bâtiment pour l'été et pour l'hiver.

I.6. L'isolation thermique dans les bâtiments

Le secteur du bâtiment est un secteur où le potentiel d'économie d'énergie est important. Une implantation réfléchie, une isolation performante et un choix pertinent des matériaux sont autant des solutions à prendre en compte pour réaliser d'une part des économies d'énergie et d'autre part minimiser l'impact sur l'environnement.

Pour une maison dite classique (non isolée). La répartition des déperditions de chaleur se représente comme suite 30 % pour les toits, 25% pour les murs, 20% pour les renouvellements d'air, 10% pour les ouvertures, 5% pour les sols et 10% pour les ponts thermiques (**Figure I.4**).

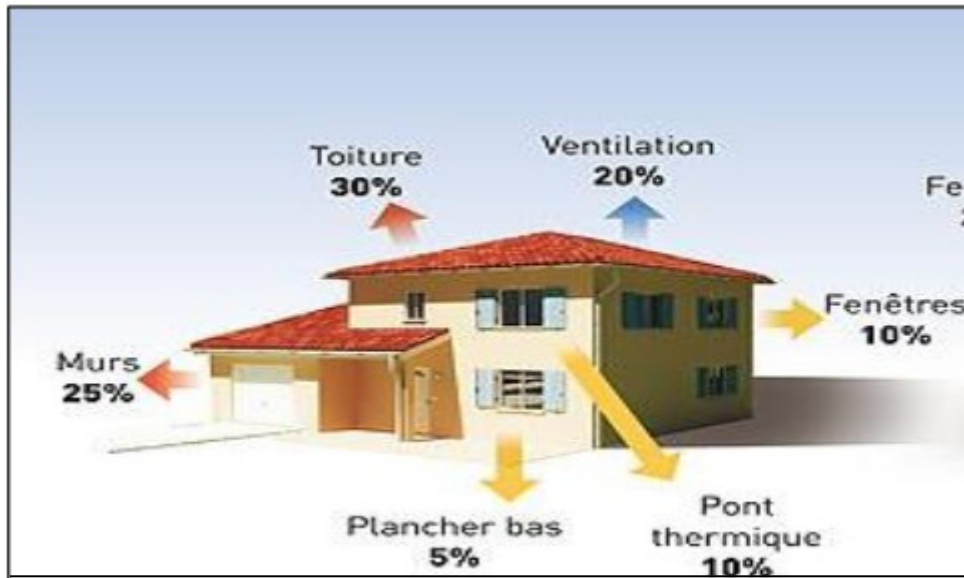


Figure I.4 : Répartition des déperditions thermiques dans une maison (Zolpan)

A l'inverse, avec une bonne isolation, on peut économiser jusqu'à 60% sur la consommation énergétique. Ceci peut être fait en réduisant les déperditions de la chaleur et en minimisant ainsi l'énergie utilisée pour le chauffage ou bien la climatisation, tout en assurant un niveau de confort satisfaisant (Beguin, 2006).

Selon la réglementation Algérienne la vérification de la conformité d'un bâtiment se fait comme suit :

I.6.1. Vérification d'hiver

Le DTR stipule que pendant la période de chauffage, les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois doivent être inférieures à une valeur de référence.

Équation I.1 :

$$D_T \leq 1.05 D_{ref}$$

$$D_{ref} = a.S_1 + b.S_2 + c.S_3 + d.S_4 + e.S_5$$

a, b, c, d, e représentent les coefficients de transmission thermique des différentes parois (respectivement le toit, le plancher, les murs, porte et fenêtres). S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 représentent la surface de ces parois (Lukas, 2009).

I.6.2 vérification d'été

Pour la période d'été, les apports de chaleur à travers les parois opaques (APO) et vitrées (AV) calculés à 15 h du mois de Juillet (considéré comme le mois le plus chaud de l'année) doivent être inférieurs à une limite appelée 'Apport de Référence (A réf) (Statistical Review of World Energy, 2015) (tableau I.5).

Équation I.2 :

$$Apo(15h) + Av(15h) \leq 1.05 A_{réf}$$

Tableau I.3 : Coefficients de référence

Zone	Bâtiment individuel					Bâtiment passif				
	a	b	c	d	e	a	b	C	d	E
A	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
A1	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
B	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8
C	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8
D	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8

I.7. Type et matériaux d'isolation

Un isolant est un matériau qui limite les échanges d'énergie entre deux systèmes. Il peut être électrique, thermique, acoustique ou mécanique.

Un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique c'est-à-dire un matériau capable d'opposer au flux thermique et cela se représente par la quantité d'air qui existe dans sa composition.

Comme indiqué dans le paragraphe précédent, l'isolation thermique réduit énormément la consommation énergétique d'un bâtiment. Cette isolation peut se faire de l'intérieur ou de l'extérieur en utilisant différentes techniques et en incorporant des isolants de différentes natures, ces isolants peuvent être :

- D'origine minérale : Laine de verre, laine de roche.
- D'origine pétro chimique : tel que le polystyrène et polyuréthane.
- Isolants réflecteurs : isolants minces.
- D'origines végétales : laine de bois, laine de lin, liège.

Il existe trois types d'isolation des parois : l'isolation intérieure, l'isolation extérieure et l'isolation intégrée au matériau porteur.

I.7.1. Isolation par l'intérieur

C'est le type le plus facile, il ne nécessite que des travaux à l'intérieur du logement. Sa mise en œuvre est simple, il suffit de mettre l'isolant au niveau de la face intérieure du mur. Les seuls défauts de ce type d'isolation sont la réduction de l'espace intérieur et le traitement des ponts thermiques dus à cette isolation (Sotehi , 2010).

I.7.2. Isolation par l'extérieur

Contrairement à l'isolation intérieure, l'isolation par l'extérieur consiste à mettre un isolant sur le côté extérieur du mur de l'habitation avec une épaisseur plus faible. Cette technique a l'avantage d'éliminer les ponts thermiques, de protéger globalement la structure du bâtiment et de ne pas diminuer la surface intérieure de l'habitation. Cependant, elle est difficile à mettre en œuvre sur certains édifices complexes. En outre, elle nécessite une protection contre les intempéries (Sotehi , 2010).

I.7.3. Isolation intégrée au matériau porteur

Cette solution utilise des matériaux qui intègrent un isolant dans leur structure. Cette technique fait appel aux bétons légers qui sont connus par leur faible masse volumique et leur bonne isolation thermique. Cette méthode d'isolation performante et durable est généralement utilisée en construction neuve (Sotehi ,2010).

I.8. Cycle de vie d'un matériau

Tout produit est source d'impact lors de sa fabrication, mais aussi lors de son utilisation, et de son élimination.

Pour étudier les impacts environnementaux d'un produit, il faut donc considérer son cycle de vie complet. Cette approche peut être plus ou moins approfondie selon les cas et suivant les méthodes utilisées

Si le produit est recyclé en fin de vie, cet enchaînement des étapes forme une boucle fermée, d'où l'expression (cycle de vie). En réalité, cette boucle est rarement complètement fermée et dans de nombreux cas, elle est même ouverte.



Figure I.5 : Les étapes du cycle de vie d'un matériau

Comme son nom l'indique, le cycle de vie d'un matériau prend en considération l'impact environnemental d'un matériau, de l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de leur vie utile.

Les étapes du cycle de vie d'un matériau sont :

- L'acquisition des matières premières
- Le transport et la distribution
- La fabrication
- L'utilisation du produit
- La gestion de la fin de vie (réutilisation, recyclage, valorisation et élimination)

Par ailleurs, un principe fondamental de l'analyse du cycle de vie est la prise en compte de plusieurs catégories d'impacts (économique, environnementales). Ainsi, l'analyse, et la discussion vont bien au-delà de la simple évaluation des émissions de gaz à effet de serre (GES) (Menet et Gruscu, 2014).

I.9. L'énergie grise

L'énergie grise est la quantité d'énergie utilisée lors de la production, l'extraction, la transformation, la fabrication, le transport, la mise en œuvre, l'entretien et en fin le recyclage d'un matériau autrement dit le cycle de vie.. L'énergie grise est une énergie cachée, indirecte, au contraire de l'énergie liée à l'utilisation, que le consommateur connaît, ou peut connaître aisément (Simonneau, 2009).

L'énergie grise d'un bâtiment est la somme des énergies grises des matériaux et équipements qui le composent à laquelle on ajoute **(Iceb, 2015)** :

- L'énergie nécessaire au déplacement de ses matériaux et équipements entre l'usine et le chantier ;
- La consommation d'énergie du chantier complémentaire à celle déjà intégrée dans l'énergie grise des composants et équipements (base vie, énergie de mise en œuvre, transport des personnes) ;
- Les énergies grises liées au renouvellement des matériaux et équipements qui ont une durée de vie inférieure à celle du bâtiment ;
- L'énergie nécessaire à la déconstruction de l'ouvrage.

I.10. Modes de transfert de chaleur

Les échanges thermiques sont les phénomènes de transfert d'énergie sous forme de chaleur dus à une différence spatiale de température. Celle-ci est définie comme étant l'énergie transférée du milieu à plus *haute* température vers le milieu à plus *basse* température. Dans un transfert de chaleur, les deux principaux paramètres sont le gradient de température et le flux de chaleur ; le premier représente quantitativement l'énergie thermique des molécules, tandis que le flux représente le mouvement de cette énergie d'une zone à une autre.

On distingue trois principaux modes de transfert de chaleur : la *conduction*, qui décrit le transfert au cœur même de la substance composant le corps ; la *convection*, où la chaleur est transmise par les déplacements convectifs du corps chauffé ; et le rayonnement, où la chaleur est transmise par des ondes électromagnétiques. A ces trois phénomènes physiques est parfois rajouté un transfert par *excitation* **(Cermak et Rybach, 1982) (Figure I.6)**.

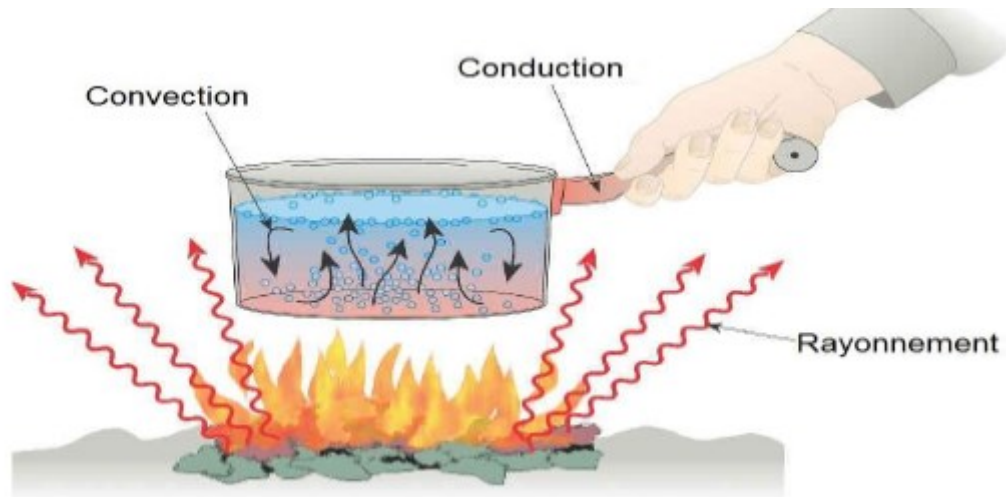


Figure I.6 : Les trois modes de transfert de chaleur

I.10.1. Transfert par conduction

Le transfert de chaleur par conduction est un transfert d'énergie dans un milieu matériel (solide ou fluide) par vibration moléculaire et sans mouvement de matière, lorsque le corps est sujet à un gradient de température. Le transfert par conduction est souvent propre aux solides uniquement ; les liquides et les gaz ont tendance à se déplacer lorsqu'ils sont chauffés, sauf dans le cas où ces derniers sont confinés dans des espaces exigus, et l'on passe dans ce cas à un transfert de chaleur par convection naturelle.

Le transfert par conduction peut être étudié soit en régime permanent ou transitoire, suivant l'équilibre thermique du système (Beck et *al.*, 1985).

I.10.2. Transfert par convection

Comme cela a été mentionné plus haut, ce mode de transfert concerne les fluides en mouvement. On note les transferts gouvernant les écoulements intra-fluide ou ceux entre la surface d'un solide et la zone d'interface entre ce dernier et le fluide environnant en mouvement, dite *couche limite* (cas des parois d'un bâtiment). Suivant la source du désordre, on distingue une convection dite *naturelle* d'une convection dite *forcée*.

La convection naturelle concerne les mouvements de fluide résultant d'une distribution spatiale non uniforme de la densité, dont un gradient de température est généralement le

moteur. Lorsque le mouvement résulte d'une action mécanique, on parle de convection forcée (**Incropera et al., 2007**).

Au contact d'un élément chaud, le fluide (dans le domaine du bâtiment, il s'agit généralement de l'air) se met en mouvement et se déplace vers l'élément froid au contact duquel il perd sa chaleur, créant un mouvement vertical qui accélère les échanges thermiques entre les deux éléments. Plus le fluide entrant en jeu est immobile, moins il y a de convection (**Bories et al., 2005**).

I.10.3. Transfert radiatif

Le transfert par rayonnement ne nécessite pas la présence d'un milieu matériel intermédiaire dans la mesure où la chaleur peut être transportée à travers le vide (ex : rayonnement solaire) ; c'est même ainsi que ce mode de transfert est le plus efficace. Il peut être défini comme la quantité d'énergie émise par un corps, dont la température diffère du zéro absolu, sous forme de rayonnement électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 0.1 et 100 μm . Selon la loi de Planck, l'émission de ce rayonnement est le résultat de la transition des électrons entre deux états d'énergie différents.

Le transfert radiatif concerne aussi bien les solides que les liquides et les gaz ; dans le cas des bâtiments, on s'intéresse surtout à l'émission des surfaces solides (**Perrot, 2011**).

I.11. Transferts de chaleur dans les milieux poreux

Les matériaux cimentaires peuvent être schématisés par des milieux poreux dans la mesure où la matrice cimentaire constitue la matrice solide dont la porosité est saturée en fluide (air et/ou eau). De ce fait, nous pouvons considérer qu'à priori, les trois modes de transfert thermique cités plus haut prennent lieu : la conduction dans le squelette solide et les fluides dans les pores, et dans une certaine mesure, les pores peuvent également être le siège de mouvements convectifs et radiatifs. Certains auteurs considèrent que les transferts thermiques au sein des matériaux cimentaires sont plus complexes que pour les autres milieux composites dans la mesure où même certaines composantes du système peuvent être eux-mêmes assimilés à des milieux poreux (**Nguyen, 2013**).

Dans les milieux poreux à température et pression ambiantes, la convection et le rayonnement dans les pores sont souvent supposés négligeables, surtout devant les transferts par conduction au sein des différentes phases (**Cermak et Rybach, 1982**). En effet, le transfert thermique est considéré purement conductif lorsque, sous l'effet d'un gradient thermique, le fluide

réactif saturant reste immobile, ce qui est le cas lorsque ce dernier est piégé dans des espaces restreints qui sont les pores. Certains auteurs rapportent cependant que la contribution de la convection naturelle aux transferts thermiques devient non négligeable à partir d'un seuil donné de diamètre des pores (**Naitali,2005**).

Dans notre cas, par rapport aux considérations mentionnées plus haut, au vu de la porosité modérée (généralement en-dessous de 25%) des matériaux cimentaires que nous traitons et de leurs dimensions caractéristiques de pores, nous négligeons les phénomènes de convection et de rayonnement à l'intérieur de ceux-ci. C'est uniquement un transfert conducteur pur à travers les différentes phases qui sera pris en compte. Nous nous intéresserons en particulier à la conductivité thermique du matériau, qui est la principale caractéristique régissant ce mode de transfert et qui permet de décrire de manière assez directe le pouvoir isolant ou conducteur de celui-ci.

I.12. Méthodes de mesure de la conductivité thermique

I.12.1. Mesures en régime stationnaire

Ces méthodes reposent sur l'établissement d'un flux unidirectionnel en régime permanent et permettent de mesurer la *résistance* thermique d'un échantillon ; permettant ainsi de remonter à sa conductivité thermique, les éprouvettes étant prismatiques. Le modèle et la méthode d'identification sur lesquels reposent ces méthodes sont élémentaires dans la mesure où il s'agit d'écrire une relation de proportionnalité entre la densité de flux et la différence de température aux bornes de l'éprouvette (**De Ponte et Klarsfeld, 2002**).

Nous citons ici la méthode de la plaque chaude gardée, dite méthode de mesure *absolue*, et la méthode flux-métrique, dite *relative*. Ces deux techniques sont régies par les normes françaises NF EN 12664(2001) et NF EN12 667(2001).

Pour ces deux essais, il s'agit d'imposer à un échantillon plan un flux de chaleur unidimensionnel de telle manière à ce qu'il soit considéré comme une plaque de largeur infinie délimitée par deux plans parallèles, tout en mesurant la différence de température aux bornes de l'éprouvette (**Salmon, 2001**).

I.12.2. Mesures en régime transitoire

Les méthodes en régime variable consistent à appliquer une perturbation thermique sur un échantillon à l'équilibre et à mesurer une *sortie* de type thermique en fonction du temps.

Ces méthodes diffèrent entre elles par rapport au type de perturbation choisi, au choix de la sortie de mesure (une ou plusieurs températures, ou flux thermique) ainsi que la géométrie du problème.

Parmi les techniques les plus communément utilisées, on peut citer la méthode *flash* ou encore celle du *fil chaud*. La méthode *flash*, parfois appelée *flash face arrière*, a été initialement proposée par **Parker et al., en 1961** puis reprise et améliorée par **Degiovanni**. Elle consiste à imposer un flux impulsionnel à un échantillon cylindrique plan et à mesurer l'élévation de la température en fonction du temps sur sa face *arrière*. Cette réponse est dénommée le *thermo-gramme* de l'échantillon, qui permet de remonter aux propriétés thermiques du matériau par analyse inverse en utilisant un modèle théorique adapté. Les principales limitations de la méthode sont atteintes lorsque les transferts convecto-radiatifs deviennent importants, en particulier pour les matériaux hautement poreux ($\geq 50\%$). Elle reste néanmoins applicable pour des matériaux composites de faible porosité et relativement « lourds », tels que le béton cellulaire ou de granulats légers.

I.13. Résistance et conductivité thermique

I.13.1 La résistance thermique

La résistance thermique est le critère d'évaluation de la performance d'un isolant. Elle dépend de la conductivité ou lambda du matériau isolant et de son épaisseur. Pour connaître la performance thermique d'un isolant, cherchez donc son R. Pour rendre compte de la performance d'isolation thermique d'un isolant, on a besoin de connaître la résistance aux transferts de chaleur présentée par ce matériau d'épaisseur donnée, pour une unité de surface et de temps donnée. Elle est exprimée en $m^2.K/W$.

Plus la résistance thermique R est grande, plus le matériau est isolant.

La résistance thermique R (en $m^2.K/W$) dépend de l'épaisseur (e exprimée en mètre) et de la conductivité thermique (λ) du matériau :

$$R = e / \lambda.$$

Équation I.3

I.13.2. La conductivité thermique ou lambda (λ)

C'est la quantité de chaleur exprimée en $W/(m.K)$ pouvant être transférée dans un matériau en un temps donné. Plus la valeur λ est petite, plus le matériau est isolant et inversement.

Les matériaux isolants thermiques ont des λ inférieurs à $0,060 W/ (m.K)$.

Afin d'évaluer la performance d'un isolant, il faut toujours tenir compte de l'épaisseur et de la conductivité thermique intrinsèque de l'isolant. A noter que le coefficient de conductivité thermique n'est valable que pour les matériaux homogènes.

I.13.3. L'épaisseur (e)

C'est l'épaisseur de l'isolant posé. Lorsque deux matériaux ont la même conductivité thermique(λ), plus l'isolant est épais plus la résistance thermique est forte. Il est donc faux de dire que seuls les premiers centimètres isolent

I.14. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu que le secteur résidentiel est un secteur énergivore et qu'il a un impact négatif sur la consommation énergétique globale d'un pays. Ceci à cause de la mauvaise conception des habitations et une isolation non adaptée ou inexistante. Cependant la réglementation thermique Algérienne prévoit dans ce cas des systèmes de calcul pour vérifier la conformité de l'habitat. Dans le cas de non-conformité, les solutions pour remédier à la perte de chaleur (énergie) se résument en utilisant des isolants de différentes origines, en revanche la question sur leur cycle de vie et leur durabilité vis-à-vis de l'environnement et l'énergie nécessaire à leur fabrication nous a interpellait. Pour cela nous avons pensé à utiliser des isolants plus respectueux à l'environnement.

Chapitre II. Déchets et matériau béton

II.1. Introduction

La croissance démographique qu'a connue notre planète au siècle dernier a été d'une ampleur sans précédent. Sa population est passée, en cent ans, de quelque 1.7milliard à 7 milliards. Cette très forte augmentation du nombre d'utilisateurs des ressources communes, est combinée à des changements spectaculaires des modes et des volumes, de production et de consommation. C'est-à-dire qu'on est passé d'une société artisanale à une société de grande consommation « une société industrielle ».

Ces changements ont amené le monde à générer plus de déchets. Ces matières, ou objets, qui n'ont plus d'usage ou de valeur pour ceux qui les possèdent, sous-produits non désirés des chaînes de production industrielles.

En Algérie, la quantité des déchets ménagers et assimilés a connu une augmentation substantielle au cours des dernières décennies en raison d'une croissance démographique galopante conjuguée à une urbanisation non maîtrisée. Ce phénomène est accentué en raison d'insuffisance de moyens et d'équipements appropriés. Parallèlement, la composition de ces déchets est en phase de passer d'un profil organique (déchets alimentaires) à des matériaux complexes (emballages, plastiques, cartons, tissus, produits en fin de vie, etc.)

Au niveau national, la méthode pratiquée pour leur élimination demeure à ce jour la mise en décharge, du fait de son faible coût par rapport aux autres filières comme l'incinération ou le recyclage.

Dans une économie de plus en plus mondialisée, l'effondrement local d'un écosystème peut avoir des conséquences planétaires. Nous consacrons beaucoup de temps à nous soucier de nos déficits économiques, alors que ce sont les déficits écologiques qui menacent notre avenir économique à long terme.

II.2. Généralité sur le Béton

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction, il est devenu irremplaçable et cela pour des raisons économiques et techniques.

Qu'est-ce qu'un béton ?

Le béton est composé d'un mélange d'agrégats formant un squelette (sable, gravier), du ciment et un liant (généralement de l'eau). Parfois une petite quantité d'adjuvant peut être ajoutée à la

formule de base pour obtenir certaines qualités, comme la fluidité, l'accélération ou le retard du temps de prise, etc.(Taleb, 2015) (Figure II.1).

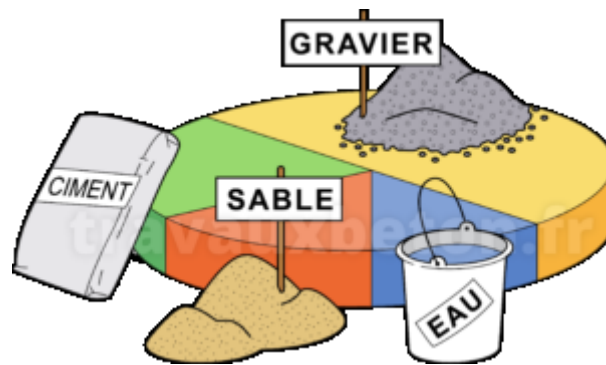


Figure II.1 : Composition d'un béton ordinaire

Les performances du béton varieront en fonction de la composition du béton, des propriétés de ses différents composants y compris la quantité et les propriétés du ciment ainsi que la quantité d'eau (Shink. 2003)

Grâce à ses propriétés performantes, le béton est consacré à une utilisation structurelle. Sa masse volumique élevée, qui varie de 2200 à 2600 kg/m³, lui permet d'être un bon isolant acoustique. En revanche, c'est un matériau moins intéressant sur le plan de l'isolation thermique (Cerezo. 2005).

Ainsi, en accordant une grande importance à ces aspects, on peut produire du béton aux propriétés très variables, en termes de résistance, d'isolation thermique, de résistance au feu, d'isolation phonique et de durabilité. Nous pouvons également fournir des réalisations concrètes de formes très complexes, de différentes couleurs et textures (Figure II.2).



Figure II.2 : Béton ordinaire à l'état frais

II.2.1. Béton léger

Comme nous avons vu précédemment le béton ordinaire est moins intéressant sur le plan d'isolation thermique (Cerezo V, 2005). C'est pour cela que des bétons dits spéciaux ont fait leur apparition, parmi eux le béton léger.

Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.), en effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 kg/m³, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 kg/m³ (Neville, 2000).

Avec cette particularité le béton léger suggère de nouvelles applications, ce qui le distingue du béton ordinaire comme l'isolation et d'allègement ou les deux à la fois, il peut également être utilisé pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues.

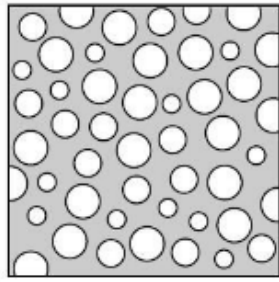
Bien utilisés, ces deux facteurs permettent d'apporter dans tous les domaines de la construction des solutions optimisées sur les plans constructif et économique ainsi qu'au niveau de la physique du bâtiment. Ils permettent ainsi d'avancer vers de nouveaux horizons de la construction.

Toutefois, les bétons légers présentent d'autres avantages tels que : la résistance au feu, la résistance au gel ainsi que par leur insensibilité générale aux agressions physiques et chimiques traditionnelles dans le domaine de la construction (Mohellebi, 2015).

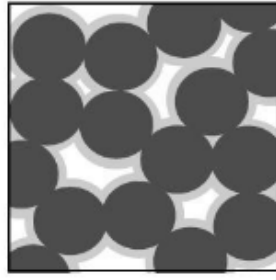
II.2.2. Types des bétons légers

Le béton léger est obtenu par diminution de la masse volumique, en remplaçant une quantité de la masse par une quantité d'air soit dans la forme générale, ou entre les gros granulats ou encore dans les granulats (Figure II.3).

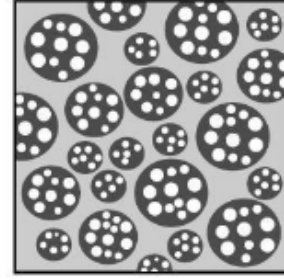
Pour chaque cas, on distingue un type de béton léger : (1) béton cellulaire, (2) béton caverneux et (3) le béton allégé. Le béton cellulaire est obtenu par incorporation des bulles d'air alors que le béton caverneux est obtenu par élimination des éléments fins. Pour le béton allégé, il est obtenu par substitution des granulats traditionnels par des granulats légers (Cerezo. 2005).



(1) Béton cellulaire



(2) Béton caverneux



(3) Béton de granulats légers

**Figure II.3 : Représentation schématique des différents types de béton léger
(Cerezo, 2005).**

II.2.3. Béton fibrée

Le béton de fibre est un béton conventionnel auquel des fibres sont ajoutées durant le malaxage (**Figure II.4**).

Les propriétés du béton de fibres dépendent de la qualité de la matrice et des caractéristiques des fibres. La matrice considérée est identique à la matrice d'un béton courant, les fibres ont de formes et de dimensions différentes liées aux technologies d'élaboration. Chacune de ces catégories de fibres donne au béton des propriétés spécifiques et qui dépendent de la nature, la forme géométrique, l'éclatement, et la teneur en fibre. Il existe plusieurs types de fibres :

- Fibres minérales : Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine) ;
- Fibres synthétiques : Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, polyester) ;
- Fibres végétales : ce sont des fibres disponibles dans la nature sans subir de transformation comme (fibre de bois) ;
- Fibres artificielles : Ce type de fibre est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de Génie Civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autre.

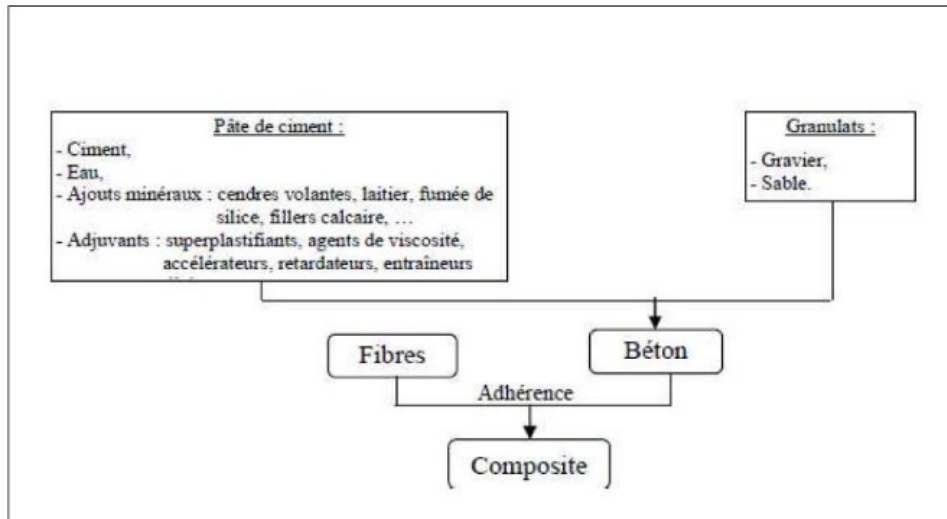


Figure II.4 : Modèle de composite à base des fibres (Rossi et al. 1989)

II.2.4. Béton carton (liant carton)

Le liant papier ou papier-béton est un matériau de construction durable, solide, isolant et écologique réalisé à partir de papier recyclé, sable et chaux hydraulique (Chandu et Student, 2018).

Pour l'éco construction ou pour des considérations écologiques, on peut envisager d'utiliser le liant papier aussi appelé papier-béton développé dans les années 70. Ce matériau est un composite réalisé à partir de papier ou de carton recyclé et il a donc l'avantage d'être non polluant et très économique. Il faut cependant noter qu'aucune certification ne permet de garantir la solidité du matériau. Il est utilisé généralement pour réaliser du petit mobilier ou pour l'aménagement paysagé.

II.3. Propriété thermique et acoustique des bétons

II.3.1. Propriété thermique

Cette caractéristique est évaluée par la conductivité thermique λ , qui est une grandeur intrinsèque du matériau. La conductivité thermique dépend des constituants et de la microstructure du béton léger. Une faible conductivité thermique dans un matériau indique que c'est un bon isolant. La conductivité thermique change avec la variation de la masse volumique. Si la masse volumique diminue, la conductivité diminue aussi (Cerezo, 2005).

II.3.2. Propriété acoustique

L'isolation acoustique vise à limiter la transmission des sons de part et d'autre d'un matériau, c'est à dire qu'elle va empêcher le bruit d'entrer comme de sortir.

Cette isolation est généralement réalisée par :

- Des matériaux de forte densité car leur inertie montre qu'ils sont plus difficilement mis en mouvement par les ondes acoustiques.
- La limitation de la transmission du son en imperméabilisant la surface du matériau.
- L'absorption en utilisant la capacité d'amortissement des sons par dissipation visqueuse (Cerezo, 2005).

II.4. La brique

Une brique est un élément de construction généralement en forme de parallélépipède rectangle, depuis longtemps les briques sont considérées parmi les éléments les plus importants dans le domaine de la construction, employée principalement dans la construction des murs, la fabrication des briques est passée par plusieurs étapes de développement dont la première est la brique crue, puis la brique cuite, enfin la brique stabilisée.

La technologie actuelle permet de réaliser plusieurs types de briques avec des performances supplémentaires pour différentes destinations (Brique de verre, brique cellulaire, brique monobloc ...etc.).

II.4.1. Brique de terre cuite

Les matériaux de terre cuite ont été utilisés depuis plusieurs siècles, ils se sont adaptés à l'évolution de la construction et à ses impératifs, dans le domaine traditionnel industriel. Ils sont fabriqués à partir d'argile devenant souvent rouge à la cuisson (sauf les argiles calcaires dont la couleur de cuisson varie du rose à jaune et blanc (Alviset, 1994), elle offre une bonne inertie thermique et restitue la nuit la chaleur stockée en journée, ce qui limite les besoins en chauffage (Figure II.5).



Figure II.5 : Brique en terre cuite.

II.4.2. Brique en béton léger

La fabrication des blocs de béton est née après la première guerre mondiale (1914-1918) à partir de matières poreuses, comme la pierre ponce ou l'argile et le schiste expansés, vu la nécessité d'une reconstruction rapide, la rareté des pierres à bâtir et leurs coûts élevés dans certains pays européens, ainsi que le manque de main-d'œuvre qualifiée pour l'édification en pierres ou brique cuite. Les blocs en béton ne demandant pas d'outillage compliqués. Ils peuvent même se réaliser sur chantiers, en usines et en séries (**Oliver, 1974**) (**Duriez, Jarrambide, 1962**) (**Figure II.6**).



Figure II.6 : bloc de béton (parpaing)

II.4.3. Brique mono-mur

Le brique mono-mur est fabriquée à partir de terre cuite, elle est entièrement constituée de minuscules alvéoles qui piègent la chaleur de l'air. En été, la maison reste fraîche et en hiver, ses performances d'isolation sont excellentes. Notons aussi que la structure du brique mono-mur ne retient pas l'humidité (**Figure II.7**).

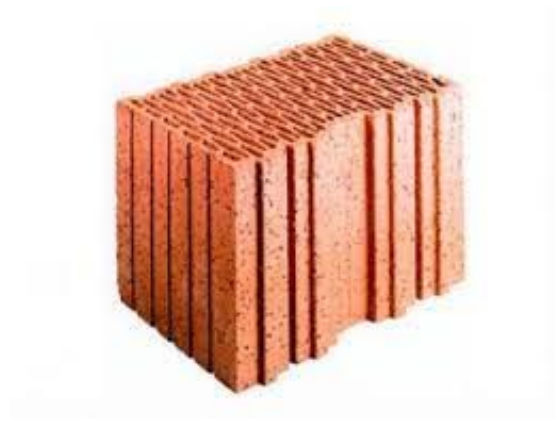


Figure II.7 : brique mono-mur

II.5. Définition d'un déchet

La notion du déchet peut être définie comme un objet en fin de vie ayant subi une altération physique ou chimique, qui ne présente aucune utilité et donc destiné à l'élimination.

Selon l'article 1541-1-1(2020) du code de l'environnement, un déchet est « toute substance ou objet, ou plus en généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire » (**LEGI-France**).

II.6. Type de déchets

De manière générale et dans le monde, les déchets sont classés comme suit :

II.6.1. Déchets spéciaux dangereux

Ce sont des déchets susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement à cause de leur composition à base de matière-nocives.

II.6.2. Déchets d'activité de soin

Ce sont des déchets résultants des activités de soin, traitements et diagnostiques dans le domaine de médecine humaine et vétérinaire.

II.6.3. Déchets ménager

Ce sont des déchets ou le producteur est un ménage, ils peuvent être un déchet encombrant, organique, d'emballage et des équipements électriques ou électroniques.

II.6.4. Déchets industriels

Ce sont des déchets issus de différentes industries comme l'industrie automobiles, agro-alimentaires, fabrication des textiles, d'emballages etc. (Tristan, 2018)

II.7. Classification algérienne des déchets

Selon la loi 01-19 du 12 décembre 2001 on distingue en Algérie 3 classes de déchets :

II.7.1. Déchets ménagers et assimilés

Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers (Figure II.8).

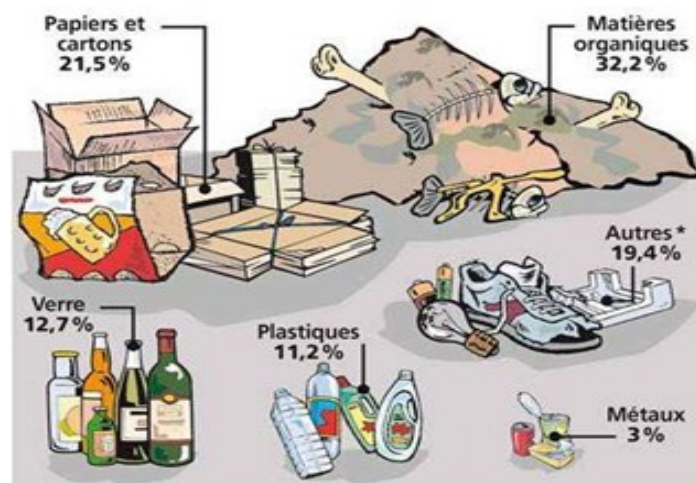


Figure II.8 : pourcentage des différents déchets ménagers

II.7.2. Déchets inertes

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 (Figure II.9).



Figure II.9 : Illustration des déchets inertes

II.7.3. Déchets spéciaux

Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes (Figure II.10).

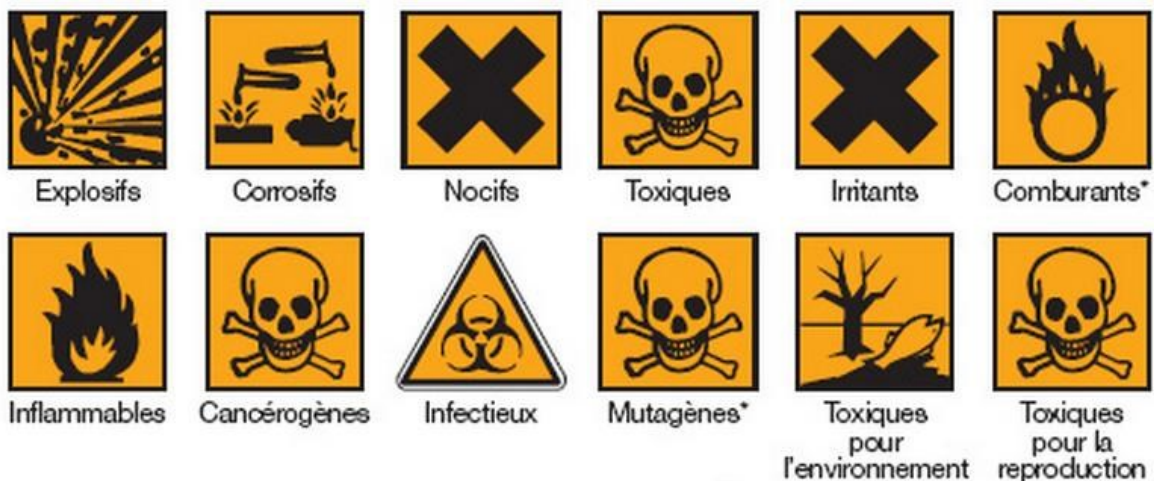


Figure II.10 : Illustration des signes de déchet spéciaux.

II.8. Gestion des déchets en Algérie

Avec l'émergence de nouvelles habitudes de consommation, toutes les villes Algériennes font face à une augmentation du volume de déchets produite.

Les conditions environnementales en Algérie dans les années 1990 étaient un problème de santé publique ; une saturation des décharges et une augmentation du ratio par habitant des déchets produits.

Ce constat a conduit le gouvernement à se pencher sérieusement sur la question de la gestion des déchets en adoptant des mesures réglementaires et fiscales à partir de 2001.

La gestion directe est prédominante et l'enfouissement technique des déchets est l'option privilégiée par les pouvoirs publics. La participation du secteur privé reste encore timide et ne semble pas connaître d'amélioration.

Deux programmes d'action ont été mis en œuvre : le programme national pour la gestion intégrée des déchets ménagers (**PROGDEM**), élaboré par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement en 2001 qui se focalise sur une nouvelle stratégie. Les principales actions concernées par **PROGDEM** sont les suivantes :

- Elaboration et mise en œuvre des plans communaux de gestion des déchets ;
- Aménagement de sites de mise en décharge contrôlée ;
- Promotion des activités de recyclage et de valorisation des déchets ;
- Introduction de nouvelles formes de gestion ;
- Adaptation graduelle de la taxe d'enlèvement des déchets ménagers et amélioration de son taux de recouvrement.
- Sensibilisation, formation et éducation.

Le deuxième programme est le « Plan National de Gestion des déchets spéciaux » PNAGDES institué par la loi 01/19 du 12 décembre 2001, relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

II.9. Recyclage des déchets

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets et de réintroduction des matériaux qui en sont issus dans le cycle de production d'autres produits équivalents ou différents. Le recyclage permet de réduire les volumes de déchets, et donc leur pollution, et de préserver les ressources naturelles en réutilisant des matières premières déjà extraites.

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les

déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz (**Chalabi et Taleb, 2016**).

II.9.1. L'impact du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- l'aluminium est recyclable à 100% ;(**Boin et al., 2005**)
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;(**sytrad**)
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 l d'eau et 2,5 kWh d'électricité en plus de 15 g de bois (**ecocompare**).

II.10. Valorisation des déchets

En Algérie, la quantité de déchets ménagers et assimilés a connu une augmentation substantielle au cours des dernières décennies en raison d'une croissance démographique galopante conjuguée à une urbanisation non maîtrisée.

D'après le Directeur général de l'Agence nationale des déchets, Karim Ouamane, la quantité des déchets produite par l'Algérie annuellement s'élevait à 34 millions de tonnes, et qu'un faible taux compris entre 7 et 10 % seulement est recyclé et valorisé.

Cette quantité de déchets non récupérée actuellement représente une valeur marchande estimée à 40 milliards de dinar (**Ouamane, 2019**).

Selon le rapport de **German cooperation** sur la gestion des déchets solides en Algérie établie en 2014, la composition des déchets se répartie comme suit :

La proportion de carton est de 9,4% et il est présent en grande quantité dans nos déchets. Les textiles sont compris dans les 13,5%. Il n'y a pas plus de détails sur cette quantité exacte

finale, 12% plastique, 1,6% verre, 1,4% Métal et 62,1 % de déchets organiques (**Figure II.11**).

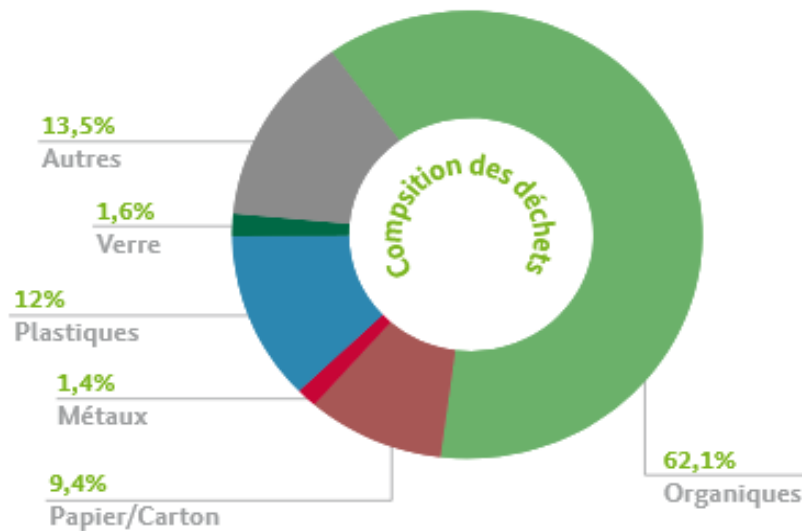


Figure II.11 : composition des déchets Algériens (German cooperation, 2014).

Pourquoi valoriser ?

Pour porter de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous-produits industriels et lier à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement.

Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère.
- Une meilleure gestion de la recherche.

II.11. Les déchets papier-carton

L'appellation papier-carton regroupe un grand nombre de produit issus pour la plus part de la transformation des fibres végétales naturelles, et dont la grande partie est recyclable :

emballages, journaux, etc. En règle générale La consommation de papier-carton est proportionnelle au niveau du développement et de la richesse d'un pays.

II.11.1. Gisement

La consommation mondiale de papier diminue de 5% par an depuis plusieurs années, tandis que celle du carton reste stable. En moyenne une personne consomme 136Kg par an, les deux tiers de ce volume ont été recyclés en 2014 soit (67%).

La production est issue de quatre sources :

- Industrielle : sous-produit de la transformation de papier-carton ;
- Commerciale : emballages, journaux ;
- Ménagère : emballages, magazine, papier divers ;
- Bancaire : vieux billets usagés.

Les papiers à usage graphique et les papiers d'emballages représentent environ 90% du total des déchets papier. En 2014, le volume collecté hors emballages était de 7.3 million de tonnes (Tristan, 2018).

II.11.2. Valorisation et recyclage du carton

Aujourd'hui la majeure partie du papier et du carton sont recyclée soit par voie humide, remise en suspension des fibres (ex. feuille de papier issue de fibres recyclées) soit par voie sèche, réutilisation d'un produit dans une application autre que l'initiale, sans remise en suspension des fibres (ex. panneaux de carton ondulé utilisés tels quels pour l'isolation).

Dans le bâtiment le carton a un potentiel intéressant au niveau de l'isolation phonique et thermique. En effet Des études et expertises mettent en avant les qualités des papiers et cartons recyclés dans l'isolation des bâtiments et des recherches sont menées pour remédier à leurs points faibles.

II.12. Les déchets textiles

La notion de « déchet textile » varie en fonction de l'acteur à l'origine du déchet. Pour un ménage, un déchet textile est un vêtement, un linge de maison ou un textile sanitaire dont il souhaite se débarrasser, tandis que pour l'industrie il s'agit des chutes de production ou des chiffons industriels souillés. Contre toute attente, le concept de « déchet » n'est donc pas systématiquement relatif à la notion d'usure : un individu peut vouloir se débarrasser d'un

vêtement qu'il juge démodé alors qu'il est encore en très bon état, par exemple (**Weber et al., 2017**).

Ajoutée à ce qui a été dit précédemment, la récupération et la valorisation des textiles est une des plus anciennes activités concernant les déchets, ancienneté qu'elle partage avec la récupération des ferrailles et métaux. Autrefois plus ou moins rentable, la récupération des textiles a perdu progressivement son intérêt, mais avec les problèmes environnementaux l'activité a repris.

II.12.1. Gisement

En résumé, au travers de la littérature et des entretiens passés, on retiendra que les principales catégories constituant le gisement de déchets textiles sont (**Claquin et al., 2005**):

- Les textiles de l'habillement (les vêtements, les chaussures) ;
- Les linges de toilettes et de couchages (serviettes et draps) ;
- Le textile d'ameublement (tapis, rideaux) ;
- Les chutes ou déchets textiles des manufactures ;
- Les textiles sanitaires (lingettes)

II.12.2. Domaine d'utilisation du textile dans le bâtiment

Grâce à ses propriétés mécaniques élevées et son potentiel énergétique, le textile est considéré comme le 5^{ème} matériau dans la construction, derrière le bois, le verre, le béton et l'acier. Le textile a su se montrer intéressant de par sa légèreté, sa résilience et sa flexibilité, tout en respectant des normes et des niveaux de qualification élevés. Il constitue une véritable opportunité d'innovation pour la construction de bâtiments à énergie positive.

On compte de nombreuses applications du textile dans la construction, en effet le matériau textile est utilisé seul ou en complément à d'autres matériaux.

En termes d'applications, on peut tenter de le classer en plusieurs grandes familles, cette liste n'étant pas complète (**Browaeys, 2011**) :

- **Les structures architecturales**
 - Structures de toitures tendues ou portées, équipant les gares TGV, les salles de congrès
 - Textiles des couvertures de toits végétalistes
 - Façades textiles temporaires utilisées pour masquer les bâtiments en réfection

- **Les matériaux de renfort des structures :**

A l'extérieur

- Renforcement anti-fissuration, bandes à joints
- Renforcement de voiles parpaings par tissu de fibre de carbone

A l'intérieur

- Surfaçage des panneaux légers, des panneaux de plâtre

- **Les matériaux d'isolation ou d'étanchéité (Isolation verticale, inclinée, ou horizontale) pour isoler les habitations sur le plan thermique, phonique**

A l'extérieur

- Murs rideaux suspendus armés en textile, pour des ravalements énergétiques de façades

A l'intérieur

- Sous-couche de toitures à haute perméabilité à la vapeur.
- Matelas d'isolation pour sol ou mur en non-tissés, situés sous les dallages ou à l'extérieur des murs de séparation

- **Les éléments de protection**

L'aménagement extérieur : Stores pour occultation anti-UV, Moustiquaires

- L'aménagement intérieur : Murs et plafonds tendus en textile

Les revêtements de sol : Moquette en grande largeur, ou en dalles

II.12.3. Les avantages de l'utilisation des matériaux textiles dans la construction

Les matériaux textiles sont ici appréciés pour leurs qualités propres (**Browaeys, 2011**) :

- propriétés mécanique : résistance (certains sont plus résistants que l'acier), renfort, flexibilité ;
- adaptabilité– légèreté– facilité de mise en-œuvre (résilience) ;
- durabilité et résistance aux intempéries ;
- isolation thermique, acoustique ;
- protection solaire, électromagnétique, électrostatique, anticorrosion ;
- confort et qualité des ambiances ;
- esthétique architecturale et design ;

- construction innovante, intérieur ou extérieur intelligent ;
- dimension économique ;

II.12.4. Recyclage et valorisation du textile

Le recyclage des textiles fonctionne bien en interne de la filière ; les manufactures valorisent leurs chutes de production pour en faire des chiffons, par exemple (RDC, 2009).

En règle générale on distingue deux principales techniques de recyclage pour les textiles : le recyclage mécanique, d'une part, et le recyclage chimique, de l'autre (Sandin et Peters, 2018).

Le recyclage mécanique consiste à récupérer les fibres textiles au travers de procédés de séparation ; la méthode la plus connue est l'effilochage, Cette méthode est principalement employée pour les laines, le coton ou encore la soie. On a recours à l'effilochage notamment pour fabriquer des matériaux d'isolation thermique, phonique et de rembourrage

Par ailleurs, en ce qui concerne le recyclage chimique, les techniques sont restreintes et essentiellement identifiées en Asie (RDC, 2009). Le principe est de récupérer des polymères après divers procédés de réactions chimiques.

Le recyclage chimique, permet de sortir des produits de haute qualité mais les coûts d'application sont élevés, c'est pourquoi les techniques ne sont pas très répandues (Rdc, 2009).

Actuellement, le secteur pouvant capter les plus grandes quantités de textiles recyclés est l'industrie du bâtiment (Rdc, 2009.). Pour ce débouché, la contrainte technique n'est pas un frein puisque les fibres peuvent être mélangées. De plus, les déchets textiles présentent des propriétés thermiques très intéressantes pour l'isolation, et, comme les quantités de vêtements collectés sont grandissantes, ce débouché est une bonne manière de donner une seconde vie aux déchets (El Wazna et al. 2017).

II.13. Quelques études sur le comportement thermique et phonique du mélange mortier - déchets

Dans le travail de (Ribot, 2016) qui concerne en partie la recherche de la résistance thermique d'un mortier carton, avec des drossages de substitution allant jusqu'à 80%, par la méthode du HOT DISK.

Le principe de base du système est de fournir au matériau à caractériser une puissance constante pendant un temps défini via la sonde HotDisk afin de générer une augmentation de température d'un à plusieurs degrés. C'est également la sonde qui est utilisée pour mesurer

l'élévation de température, grâce à l'enregistrement de la variation de sa résistance électrique. La sonde HOT DISK est donc utilisée à la fois comme source de chaleur et comme capteur de température.

L'avantage de cette méthode est qu'elle constitue une méthode absolue. Cela veut dire qu'elle ne dépend pas d'un étalonnage par rapport à des matériaux ayant des propriétés de transfert de chaleur connus. On mesure en même temps la conductivité thermique et la diffusivité thermique.

Les éprouvettes mélange carton ciment sable ont une conductivité moyenne de 0,208 W/m.K et celles du mélange carton et terre de 0,406W/m.K. En moyenne la conductivité thermique des éprouvettes se trouve proche de celle du bois. Les briques de carton sont de meilleurs isolants que le béton ou terre compressée mais de moins bons isolants que l'**IPAC** de **BAT'IPAC** par exemple, qui a une conductivité thermique de 0.036W/m.K. Dans la brochure de l'entreprise **d'Econovate**, ils indiquent obtenir une conductivité thermique de 0.150 W/m.K pour leur brique de carton et ciment. Les éprouvettes en carton seul ou carton ciment et sable sont du même ordre de grandeur.

En déterminant cette valeur de conductivité thermique la comparaison entre le matériau créé et le reste des matériaux isolant présent dans le marché sera plus facile.

Mougari et al. 2016 ont pu avoir un aperçu sur la résistance sonore de leurs matériaux en utilisant l'ultra son.

La méthode d'auscultation, non destructive et simple, a été utilisée avec succès pour plus de 60 ans pour l'évaluation de la qualité des matériaux. Pour déterminer leurs caractéristiques d'isolation thermique et acoustique, nous avons utilisé l'appareil ultrason pour spécifier leur comportement acoustique. La technique ultrasonore permet à la fois de faire un contrôle non destructif du matériau, mais aussi de faire une évaluation non destructive.

L'objectif de cet essai est de mesurer la vitesse de la propagation des ondes ultrasonores à travers le matériau. (Ou le temps de transit d'ondes ultrasonores pulsées dans un échantillon de masse et d'épaisseur connues) se propageant dans le milieu testé en transmission.

L'appareil ultra-sonique génère des ondes ou des impulsions "ultra-soniques" qui sont transmises au béton par un transducteur mis au contact avec la zone à évaluer. Le temps de propagation des ondes à travers le béton est visualisé sur un afficheur digital de l'appareil



Figure II.12 : Appareil de test ultrasonique Pundit-Lab

Cette technique leur a permis de comparer entre les différentes vitesses de propagation des ondes ultrason à travers les différentes compositions de matériaux et par conséquent déterminer les matériaux le mieux isolant. Sachent que plus la vitesse est moindre plus le matériau est isolant.

Malheureusement, pour notre étude ce matériel n'était pas disponible.

II.14. Conclusion

Les déchets constituent un réel problème, attaché à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche des solutions est une vraie nécessité pour les collectivités.

De nombreux types de déchets ne pourront peut-être pas être utilisés à une grande échelle étant donné la diversité de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

La valorisation des déchets reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers.

Grace aux propriétés vues précédemment les déchets textiles et carton représente une réelle opportunité, de les valoriser dans la formulation des briques.

Chapitre III. Matériaux et méthodes

III.1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre, un nouveau type de mortier à base de déchet textile et carton. Ce mortier est obtenu par une substitution volumique des granulats minéraux et par des déchets. Nous présentons d'abord les matériaux utilisés puis les formulations des mélanges effectués. En dernier, nous montrons les essais réalisés pour la détermination de la meilleure composition de mortier qui isole le mieux au point de vue thermique et phonique.

III.2. Caractérisation des matériaux

Dans cette partie, nous avons présenté les caractéristiques des matériaux utilisés pour nos procédures expérimentales. Les essais expérimentaux ont été réalisés selon les normes adéquates.

III.2.1. L'eau

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des bétons est l'eau distribuée par le réseau du service public de la Daïra de Chetouane appartenant à la wilaya de Tlemcen. Un échantillon d'eau a été analysé au Laboratoire de Travaux Publics Ouest de la wilaya de Tlemcen (LTPO), le résultat de la composition chimique est donné dans le Tableau III.1.

Tableau III.1 : Composition chimique de l'eau utilisée.

CATIONS	mg/l	méq/l	ANIONS	mg/l	méq/l
Calcium	110,621	5,520	CHLORURE (Cl)	99,400	2,800
Magnésium (mg)	42,282	3,477	SULFATES (SO ₄)	312,740	6,515
Sodium (Na)	-	-	CARBONATES (CO ₃)	NEAT	NEAT
Potassium (K)	-	-	BICARBONATES (HCO ₃)	473,515	7,760
Balance cation	-	8,997	BALANCE ANION	885,655	17,075

Selon la norme NF EN 1008 (Juillet 2003), l'échantillon d'eau analysé peut être utilisé pour un mortier de gâchage du béton précontraint ou coulis du béton armé ou avec insert, ou du béton non armé et sans insert.

III.2.2. Ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CPJ-CEM II/A 42,5 provenant de la cimenterie de Béni-Saf (S.C.I.B.S). Nous avons déterminé sa masse volumique absolue à l'aide du pycnomètre en utilisant le toluène qui est non réactif avec le ciment. Nous avons aussi déterminé la masse volumique apparente à l'aide d'un entonnoir et une mesure de 1 litre (Figure III.1). Les résultats des masses volumiques du ciment sont déterminés conformément à la norme NF P18-558 et sont consignés dans le Tableau III.2.



Figure III.1 : Caractérisation de la masse volumique apparente du ciment

Tableau III.2 : Masses volumiques du ciment CPJ-CEM II/A utilisées.

Matériau	Ciment
M.V abs (kg/m ³)	3124
M.V app (kg/m ³)	1011

III.2.3. Déchet carton

Les déchets carton ont été récupérés de l'usine de production des boîtes en carton (Sarl ECOPACK) de la zone industrielle de Tlemcen (**Figure III.2**).



Figure III.2 : déchets carton

Nous avons réalisé les essais d'absorption pour ce carton comme suit :

Nous avons immergé une certaine quantité de carton dans l'eau pendant 24h (**Figure III.3 et figure III.4**). Ensuite, on a mesuré la masse à état saturée. Le résultat du coefficient d'absorption est représenté dans le **Tableau III.3**



Figure III.3 : immersion du déchet carton dans l'eau.



Figure III.4 : déchet carton avant immersion dans l'eau.

Tableau III.3 : Coefficient d'absorption du carton

Déchet	Carton
Absorption (%)	184 (%)

III.2.4. Déchet textile

Les déchets textiles ont été récupérés de l'usine Mantal-manufacture de tissage d'articles lourds, spa. Nous avons récupéré deux types de déchet issus de la découpe finale des couvertures et draps. Les deux tissus sont constitués de fibres naturelles et synthétiques. Nous allons appeler les déchets textiles issues de la découpe des draps : tissu blanc et les déchets textiles issues de la découpe des ouvertures : tissu rouge (**Figure III.5, 6**)



Figure III.5 : déchets textile issus de coupes des draps



Figure III. 6 : déchets textile issus de coupes de couvertures

III.2.4. Granulats minéraux

Les granulats minéraux utilisés sont des granulats concassés provenant de la carrière de l'Entreprise Nationale des Granulats (E.N.G) de Sidi-Abdelli, Tlemcen-Algérie. Le granulat minérale est le sable de diamètre entre 0et 4mm.

III.2.4.1. Analyse granulométrique des granulats

L'analyse granulométrique a pour objectif de déterminer la distribution dimensionnelle des différents grains constituant chaque échantillon du granulat étudié. Nous avons effectué l'essai conformément à la norme BS EN 933-1. L'analyse granulométrique du sable a donné

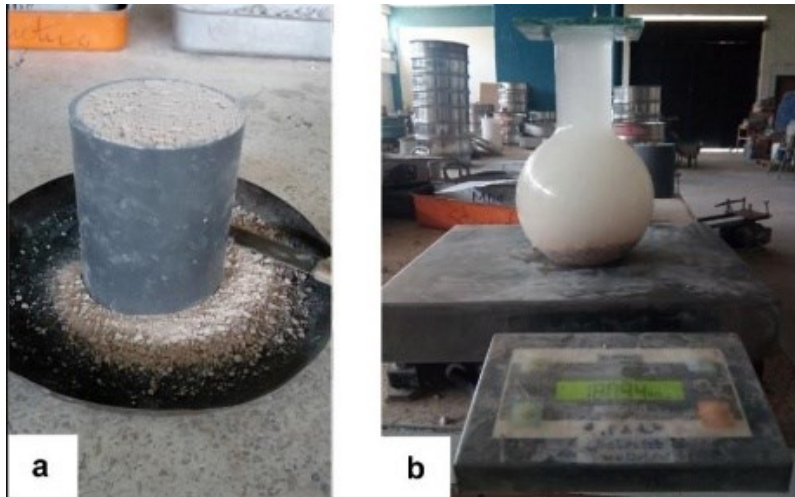


Figure III.8 : Essais de caractérisation physique des granulats testés, (a) Masse volumique apparente, (b) Méthode du ballon.

Tableau III.4 : Masses volumiques des granulats minéraux utilisés

Granulat	Sable
M.V app (kg/m ³)	1623
M.V abs (kg/m ³)	2739

III.3. Formulation des mortiers

Dans le cadre de notre étude expérimentale, nous avons considéré trois types de mortier : (1) un mortier de référence sans ajouts de déchet textile ou carton, (2) un mortier à base de déchet textile et (3) un mortier avec ajout de déchet carton. Les mortiers (2) et (3) ont été obtenus par des substitutions volumiques du sable et du ciment par les déchets de textile et carton.

Les trois mortiers formulés ont été réalisés conformément à la norme EN196-1(2016), concernant les déchets textiles et cartons, ceux-là, ont été ajoutés en dernier lieu suivit d'un malaxage pendant 1 min (**Figure III.9**).



Figure III.9 : ajout des déchets au mortier

III.3.1. Mortier de référence

Le mortier normal est un mortier qui sert à définir certaines caractéristiques des ciments. Ce dernier est réalisé conformément à la norme EN 196-1. Le mortier normal est le mélange d'éléments secs (sable et ciment) avec un rapport E/C = 0,5. La formulation du mortier de référence est résumée dans le **Tableau III.5**.

Tableau III. 5 : Composition d'un mètre cube de mortier de référence.

Matériaux	Eau	Ciment	Sable
Quantité	225Kg	450Kg	1350Kg

III.3.2. Mortier de textile

Les formulations préconisées pour les mortiers de textile sont le résultat de substitutions volumiques de 1 et 2% du (sable + ciment) du mortier de référence, par les déchets textile et avec un rapport E/C = 0,8. La formulation du mortier textile est résumée dans le **Tableau III.6**

Tableau III.6 : Composition d'un mètre cube de mortier textile.

Matériaux	1%	2%
Eau	356.4 Kg	352.8 Kg
Sable	1336.5 Kg	1323 Kg
Ciment	445.5Kg	441 Kg
Textile	18 Kg	36 Kg

III.3.3. Mortier de papier

Les formulations préconisées pour les mortiers de papier sont le résultat de substitutions volumiques de 10%, 15%, et 20%du (sable + ciment) du mortier de référence, par les déchets papier et avec un rapport E/C = 0,8. La formulation du mortier papier est résumée dans le **Tableau III.7.**

Tableau III.7 : Composition d'un mètre cube de mortier papier.

Matériaux	10%	15%	20%
Eau	324 Kg	306 Kg	288 kg
Sable	1215 Kg	1147.5 Kg	1080 kg
Ciment	405 Kg	382.5 Kg	360 kg
Papier	180 Kg	270 Kg	360 kg

III.4. Confection des enceintes

Pour réaliser nos essais thermique et sonore nous avons confectionné trois (3) enceintes de composition différente, un (1) en mortier de référence où les 6 faces sont identiques, le deuxième (2) en mortier textile ou les 6 faces ont une composition différente et le troisième (3) en mortier papier ou les 6 faces ont 3 compositions différentes, les trois enceintes ont une face avec une ouverture conçue pour faire entrer le système de chauffe (**Figure III.10**).



Figure III.10 : enceinte en mortier

Pour réaliser les enceintes nous avons utilisé trois moules différents :

- Moule 1 : dimension= $27.5\text{cm} \times 27.5\text{cm} \times 4\text{cm} = 3025\text{cm}^3 = 0.003\text{m}^3$, Il est utilisé pour les côtés de l'enceinte (**Figure III.11**).



Figure III.11 : moule (2) $27.5\text{cm} \times 27.5\text{cm} \times 4\text{cm}$.

- Moule 2 : dimension= $36\text{cm} \times 27.5\text{cm} \times 4\text{cm} = 3960\text{cm}^3 = 0.0039\text{m}^3$, Il est utilisé pour le haut de l'enceinte (**Figure III.12**).



Figure III.12 : moule (2) 36cm × 27.5cm × 4cm.

- Moule 3 : dimension= 27.5cm × 18.5cm × 4cm= 2035cm³=0.002m³, Il est utilisé pour la base de l'enceinte (**Figure III.13**).



Figure III.13 : moule (3) 27.5cm × 18cm × 4cm

Pour réaliser l'ouverture nous avons utilisé le moule (1) où nous avons placé en son centre un poids circulaire de 9 cm de diamètre, et coulée au tour le mortier (**Figure III.14**).



Figure III.14 : moule utilisé pour la face doté d'une ouverture

III.4.1. Enceinte en mortier de référence

L'enceinte est composée de 4 faces identiques (moule1) dont l'une avec un trou au milieu, qui est destiné au chauffage du système ; une base (moule 3) et d'un toit (moule 2).

Les 4 faces sont obtenues par coulage dans le moule 1 suivant la composition indiquée dans le **tableau III.8**.

Tableau III.8 : Composition pour moule (1) en mortier de référence.

Matériaux	Eau	Ciment	Sable
Quantité	775 ml	1350g	4050g

La base de l'enceinte est obtenue par coulage dans le moule 3 suivant la composition indiquée dans le **tableau III.9**.

Tableau III.9 : Composition pour moule (3) en mortier de référence.

Matériaux	Eau	Ciment	Sable
Quantité	457.875 ml	915.75g	2747.3g

Le toit de l'enceinte est obtenu par coulage dans le moule 2 suivant la composition indiquée dans le **tableau III.10**.

Tableau III.10 : Composition pour moule (2) en mortier de référence.

Matériaux	Eau	Ciment	Sable
Quantité	900ml	1800g	5400g

III.4.2. Enceinte en mortier de textile

L'enceinte est composée de 4 faces de composition différentes (moule1) dans une avec une ouverture au milieu destinée à faire rentrer le système de chauffage, une base (moule 3) et d'un toit (moule 2).

Les 4 faces sont obtenues par coulage dans le moule 1 suivant les compositions suivantes (**Tableau III.11, 12, 13, 14**).

Tableau III.11 : Composition de la face 1 (moule (1)) en mortier avec 1% de tissu blanc

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Textile
Quantité	1069.2ml	1336.5g	4009.5g	54g

Tableau III.12 : Composition de la face 2 (moule (1)) en mortier avec 2% de tissu rouge

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Textile
Quantite	1058.4ml	1323g	3969g	108g

Tableau III.13 : Composition de la face 3 (moule (1)) en mortier avec 2% de tissu blanc

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Textile
Quantite	1058.4ml	1323g	3969g	108g

Tableau III.14: Composition de la face 4 (moule (1)) en mortier avec 1% de tissu rouge

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Textile
Quantite	1069.2ml	1336.5g	4009.5g	54g

La base de l'enceinte est obtenue par coulage dans le moule 3 suivant la composition suivante (tableau III.15).

Tableau III.15 : Composition de la face (moule (3)) en mortier avec 1% de tissu blanc

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Textile
Quantite	725.27ml	906.6g	2719.8g	36g

Le toit de l'enceinte est obtenu par coulage dans le moule 2 suivant la composition d'un mortier de référence, pour cette face le textile a été placé au milieu de la plaque (tableau III.16).

Tableau III.16 : Composition de la face (moule2) en mortier avec 1% de tissu rouge

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Textile
Quantite	891ml	1782g	5346g	72g

III.4.3. Enceinte en mortier de papier

L'enceinte est composée de 4 faces différentes (moule1) dans une, avec une ouverture au milieu destinée à faire rentrer le système de chauffe, une base (moule 3) et d'un toit (moule 2).

Les 4 faces sont obtenues par coulage dans le moule 1 suivant les compositions suivantes (Tableau III 17, 18 et 19).

Tableau III. 17 : composition de la face 1et 2 (moule (1)) en mortier avec 15% de papier

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Papier
Quantité	918ml	1147.5g	3342.5g	810g

Tableau III.18 : composition de la face 3 (moule (1)) en mortier avec 10% de papier

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Papier
Quantité	978ml	1215g	3645g	540g

Tableau III.19 : composition de la face 4 (moule (1)) en mortier avec 20% de papier

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Papier
Quantite	864ml	1080g	3240g	1080g

La base de l'enceinte est obtenue par coulage dans le moule 3 suivant la composition suivante (Tableau III.20).

Tableau III.20 : composition de la face (moule (3)) en mortier avec 10% de papier

Matériaux	Eau	Ciment	Sable	Papier
Quantite	659.36ml	824.2g	2472.6g	366.3g

Le toit de l'enceinte est obtenu par coulage dans le moule 2 suivant la composition suivante :

Tableau III.21 : composition de la face (moule (2)) en mortier avec 20% de papier

Materiaux	Eau	Ciment	Sable	Papier
Quantite	1152ml	1440g	4320g	1440g

III.4.4. Assemblage des enceintes

Après démoulage de chacune des faces qui constituent l'enceinte nous avons procédé à l'assemblage de ces derniers.

Pour réaliser cet assemblage nous avons utilisé une patte de ciment, pour une meilleure adhérence entre les faces ; un picage de 4 cm de largeur sur le périmètre de chacune des faces suivies d'un mouillage (**Figure III.15**).



Figure III.15 : Assemblage de l'enceinte

III.5. Essai thermique et sonore

III.5.1. Essais thermiques

Pour réaliser notre essai thermique, nous avons utilisé dix (10) thermocouples composés de capteurs qui relèvent la température sur surface des plaques et d'un afficheur qui donne la valeur de la température (Figure III.16).

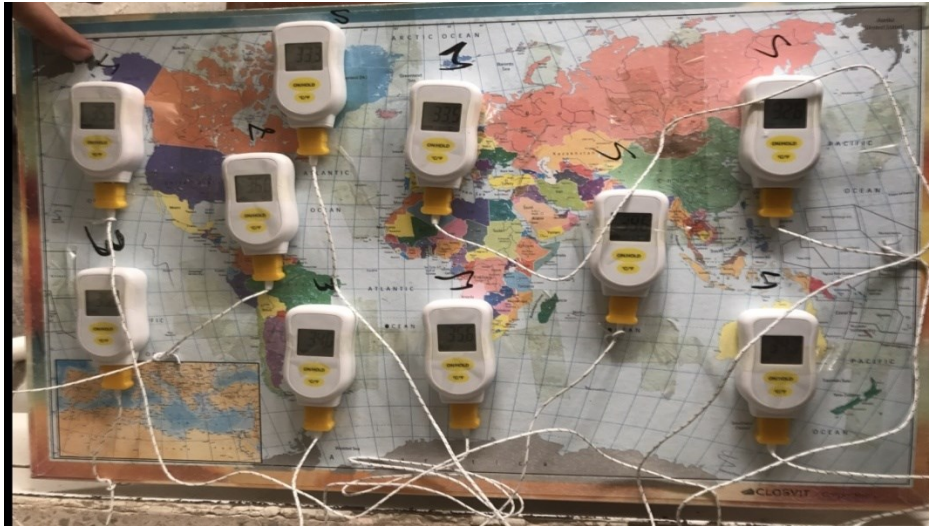


Figure III. 16 : Thermocouples.

Nous avons placé 2 thermocouples sur chacune des 5 faces, sauf pour la base de l'enceinte (Figure III.17).



Figure III.17 : disposition des capteurs.

Les capteurs des thermocouples sont placés sur la surface des faces recouvertes d'une fine plaque de liège le tout est attaché à l'aide d'un scotch en aluminium (**Figure III.18**).



Figure III.18 : méthode de placement des capteurs sur la face de l'enceinte.

Pour pouvoir relever les résultats des thermocouples nous avons besoin d'un système de chauffage à l'intérieur de l'enceinte, pour ce fait nous avons utilisé une lampe standard de 75 watts que nous avons introduit à l'intérieur par l'ouverture mise en place sur une des faces. Pour éviter au maximum les déperditions de chaleur nous avons comblé le vide de l'ouverture ou on a introduit la lampe dans une plaque en mousse de 4cm recouverte en extérieure par un tissu isolant (**Figure III.19**).



Figure III.19 : l'emplacement de la lampe dans l'enceinte.

A la fin des essais on relève les températures intérieures de chaque enceinte à l'aide d'un thermomètre (Figure III.20).



Figure III.20 : prélèvement de la température intérieur.

III.5.2. Essais sonores

Pour réaliser notre essai, nous avons utilisé une source de son et un sonomètre(RION) pour mesurer le niveau de pression acoustique de cette source (Figure III.21).



Figure III.21 : Le sonomètre et la source sonore

Dans cet essai nous avons fixé le sonomètre à l'intérieur de l'enceinte et nous avons varié la position de la source sonore selon ses faces (Figure III.22).



Figure III.22 : Les différents emplacements de la source sonore par rapport aux faces de l'enceinte.

Pour pouvoir comparer les résultats obtenus et définir la meilleure composition de mortier on devait prendre des résultats dans le cas où il y a aucune résistance au son (à vide). Pour cela on a répété l'expérience en suivant les mêmes étapes mais en enlevant l'enceinte(**Figure III.23**).



Figure III. 23 : les différents emplacements de la source sonore sans l'enceinte.

III.6 Conclusion

Cette étude expérimentale comprend la caractérisation des propriétés des constituants des mortiers. Cette caractérisation nous a permis de connaître le taux d'absorption d'eau du carton ainsi que le module de finesse du sable, caractéristique du ciment et de l'eau.

Ce chapitre décrit aussi les méthodes expérimentales utiliser au laboratoire afin d'identifier l'influence d'ajout de déchet textile et carton sur la résistance thermique et phonique.

La première partie nous avons déterminé la formulation des différents mortiers ainsi que la procédure de fabrication

La deuxième partie a été simplement destinée a la description des méthode de mesure (thermique et phonique) afin de déterminer la formulation la mieux isolante.

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter et d'expliquer les résultats du protocole expérimental que nous avons effectué au laboratoire et qui nous a permis d'étudier l'influence d'ajout de déchets textiles et carton sur l'isolation thermique et phonique. Pour atteindre ces objectifs, nous avons fait varier le pourcentage des déchets dans les plaques.

IV.2. Résultats des essais thermiques

Les tableaux suivants regroupent les résultats de l'évolution de la température par apport au temps des différentes faces de l'enceinte, les essais ont commencé après 45 min de chauffe avec une température extérieure de 30 °C.

IV.2.1. Mortier de référence

Les résultats obtenus des essais thermiques effectués sur les cinq faces du mortier de référence sont représentés dans le **tableau IV.1**. Pour chacune des faces, nous avons mesuré deux valeurs de température, ensuite nous avons déterminé la moyenne de ces valeurs.

Tableau IV.1 : les résultats thermiques pour les cinq faces du mortier de référence en fonction du temps.

Temps (min)	Températures mesurées sur les faces (°C)				
	1	2	3	4	5
0	34.4	35.9	34.5	34.65	35.06
1	34.6	36.1	34.7	34.9	35.26
10	35.45	37.2	35.4	35.75	35.94
20	36.3	38.3	36.4	36.65	37
30	37.05	39.8	36.95	37.3	37.8
45	38.05	40.4	37.95	38.35	38.86
60	39	41.8	38.8	39.35	40
75	39.85	42.8	39.65	40.2	40.86
90	40.55	43.5	40.3	40.85	41.53

* La température intérieure à la fin de l'essai a atteint 63 °C.

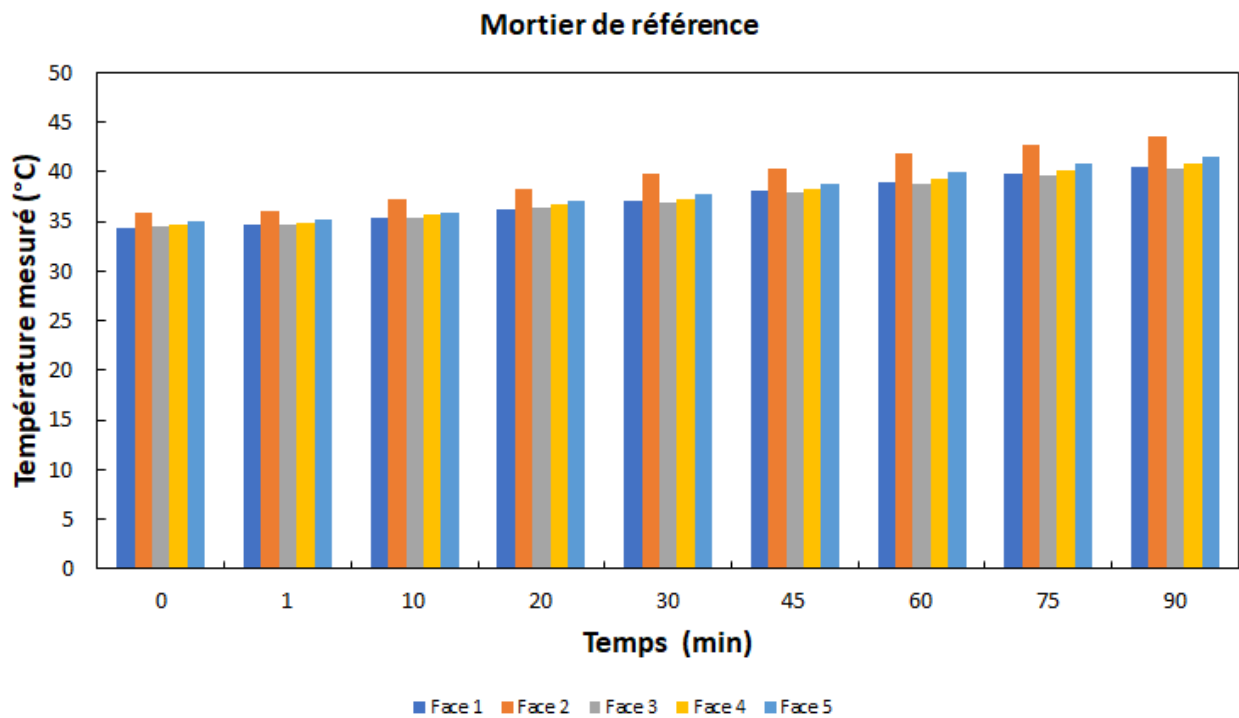


Figure IV.1 : Courbe des résultats thermique pour mortier de référence

IV.2.2. Mortier avec textile

Le **tableau IV.2** montre les mesures de la température pour le cas du mortier mélangé avec les déchets textiles rouges et blancs avec des pourcentages de 1 et 2 %.

Tableau IV.2 : les résultats thermiques pour le mortier de textile

Temps(min)	1% blanc mélange	2% rouge mélange	2% blanc mélange	1% rouge mélange	1% rouge au milieu
0	35.4	33.5	31.55	35.1	33.9
1	35.5	34.25	31.6	35.35	34.1
10	36.9	34.9	32.45	36.55	35.25
20	38.05	35.8	33.15	37.6	36.2
30	39.2	36.8	33.85	38.5	37
45	40.55	37.95	34.8	39.95	38.1
60	41.8	39.15	35.7	41.2	39.05
75	42.9	40.45	36.65	42.25	39.85
90	43.9	41.11	37.3	43.1	40.6

La mention rouge au milieu signifie que le textile est placé au milieu de la plaque à partir d'une composition d'un mortier de référence.

La variation de la température mesurée pour chaque formulation en fonction du temps est illustrée dans la **figure IV.2**.

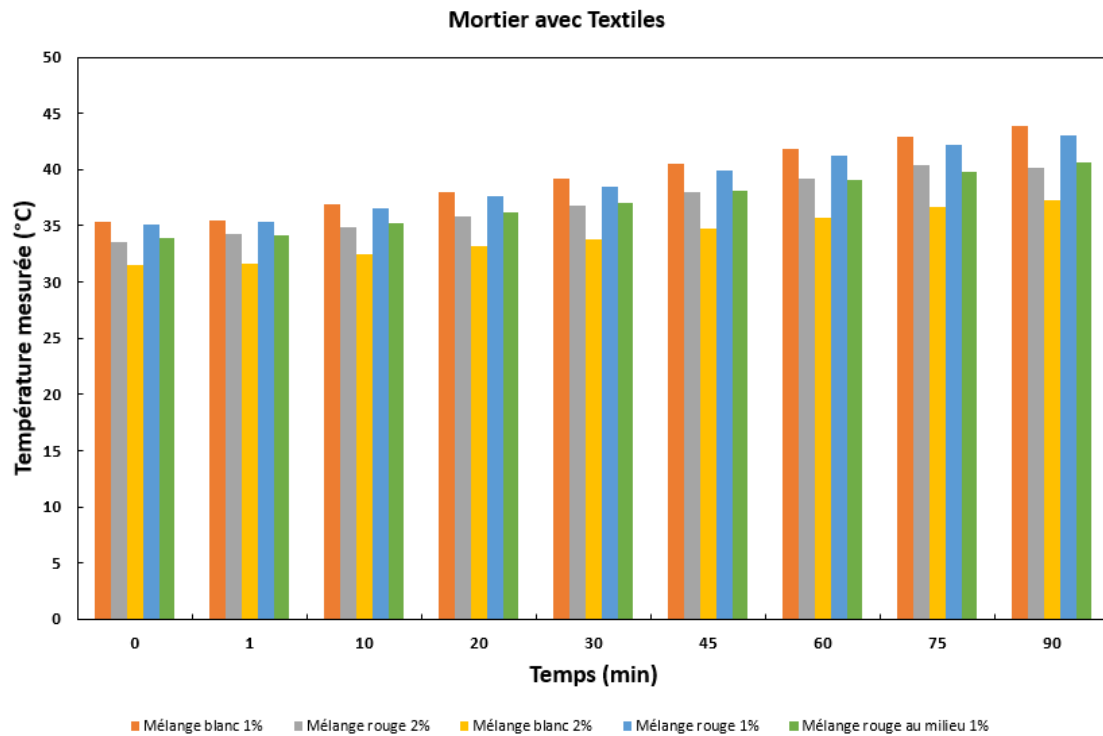


Figure IV.2 : Courbe des résultats thermiques pour mortier de textiles

- La température intérieure à la fin de l'essai a atteint 66 °C.

IV.2.3. Mortier avec papier

Pour le cas du mortier mélangé avec les déchets de papier, les résultats trouvés à la fin de l'essai sont récapitulés dans le tableau IV.3. L'évolution de la température avec les différents pourcentages des déchets papier est représentée par la **figure IV.3**.

Tableau IV.3 : les résultats thermiques pour le mortier de papier.

Temps(min)	15% papier	15% papier	20% papier	10% papier	10% papier
0	31.25	31.55	29.8	33.8	33.35
1	31.45	31.8	30	33.95	32.05
10	32.5	32.75	30.7	35.15	33.2
20	33.25	33.55	31.4	36.15	34.1
30	34.05	34.4	32.2	37.2	35
45	35.2	35.55	33.1	38.35	36.3
60	36.05	36.35	33.8	39.2	37.15
75	36.7	37.15	34.85	40.2	38.15
90	37.55	38.05	35.6	40.5	38.95

* La température intérieure à la fin de l'essai a atteint 70 c°.

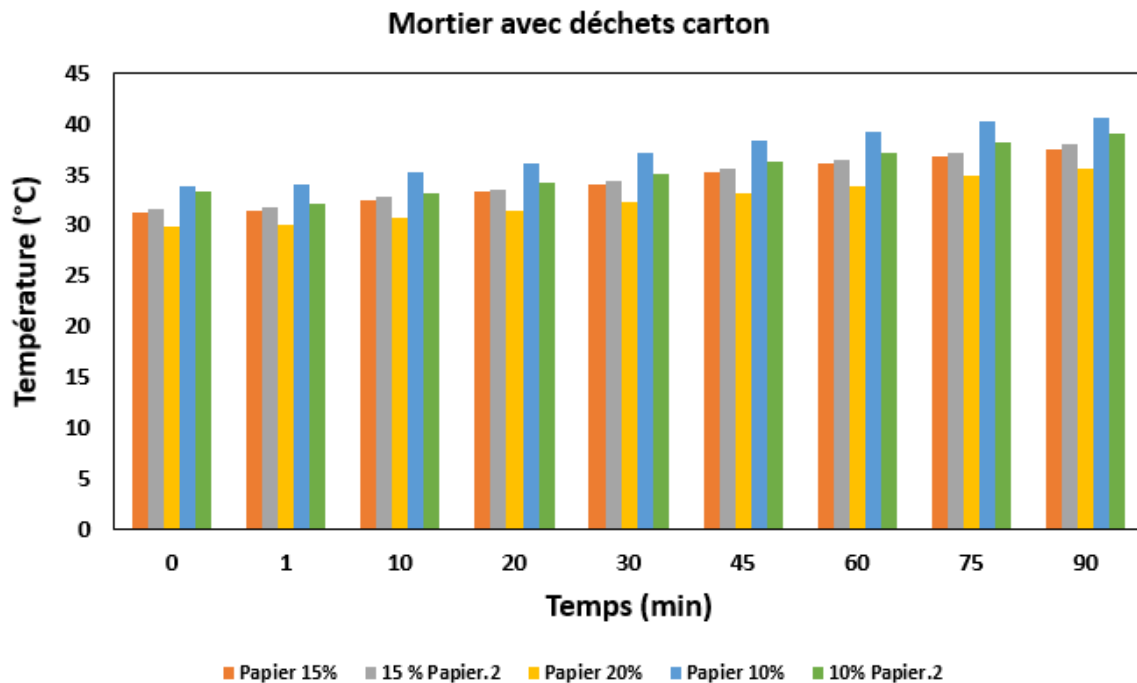


Figure IV.3 : Courbe des résultats thermiques pour mortier de papier.

IV.3. Résultats des essais sonores

Les résultats des essais sonores concernant le mortier de référence et le mortier avec déchets de textiles et papier, sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous.

IV.3.1 Mortier simple

Tableau IV.4 : les résultats sonores pour le mortier de textile

Face	1	2	3	4	5
Niveau sonore (db)	31.9	23.2	30	23	19.5

IV.3.2 Mortier avec textile

Tableau IV.5 : les résultats sonores pour le mortier de textile

Face	1% blanc mêlé	2% rouge mêlé	2% blanc mêlé	1% rouge mêlé	1% rouge au milieu
Niveau sonore (db)	21.4	17.6	16.8	19.4	16.6

IV.3.3 Mortier avec papier

Tableau IV.6 : les résultats sonores pour le mortier de papier

Face	15% papier	15% papier	20% papier	10% papier	10% papier
Niveau sonore (db)	29.5	19.5	17.5	23.2	21.4

IV.3.4 A vide

Tableau IV.7 : les résultats sonores à vide

Face	1	2	3	4	5
Niveau sonore (db)	36.3	39.5	42	35	32.4

IV.4. Interprétation des résultats

IV.4. 1. Partie thermique

Pour le mortier de référence les résultats ont montré que la température maximale enregistrée par les capteurs à la fin de l'essai est de 43.5 °C alors, que La température intérieure a atteint 63°C.

Pour le mortier de textile le résultat obtenu révèle que la température maximale enregistrée par les capteurs a atteint une valeur de 43.9°C alors que la température intérieure à la fin de l'essai a atteint 66 °C. Quant aux autres faces on a constaté que la face qui a obtenu un meilleur résultat est celle qui contient 2% de tissu blanc mélangé. Elle est la plus isolante d'entre eux avec une température de 37.3 °C.

Pour le mortier de papiers les résultats ont indiqué que la température maximale enregistrée par les capteurs est de 40.5 °C alors que la température intérieure à la fin de l'essai a atteint 70 °C, on a remarqué également que la face la plus isolante est celle obtenue par le mortier qui contient 20% de papier avec une température de 35.6 °C et cela par rapport aux autres faces.

On peut constater que la composition la mieux isolante du point de vue thermique est le mortier de papier avec un pourcentage de 20% de déchet carton. En effet, le carton s'avère être un bon isolant thermique.

Dans notre cas nous n'avons pas eu la possibilité de déterminer la conductivité thermique et par conséquent la résistance thermique de chaque formulation de mortier réaliser. Cela à cause du manque de temps et de moyens matériels dans le laboratoire (matériaux de construction).

IV.4. 2. Partie sonore

Pour pouvoir comparer les résultats on a calculé la moyenne entre les faces de chaque enceinte et à vide. Le **tableau IV.8** représente ces moyennes.

Tableau IV.8 : résultat moyenne des plaques.

Mortier	Moyenne du niveau sonore (db)
Mortier de référence	25.52
Mortier textile	18.36
Mortier carton	22.18
À vide	37.04

Conformément à ces moyennes et selon le tableau ci-dessus, on remarque que l'enceinte en mortier textile bénéficie de la meilleure isolation comparée aux deux autres.

Du point de vue de l'enceinte en mortier de textile, la face où sa composition est formulée à base de 2% de textile blanc mélangé est la mieux isolante par rapport aux 4 autres faces et cela avec un niveau sonore qui ne dépasse pas les 17.5 db.

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on s'est intéressé à l'effet de déchets de textiles et de carton sur le comportement thermique et phonique du mortier. Les résultats obtenus ont montré un impact positif d'ajout de ces déchets dans le mortier en termes d'isolation thermique et phonique.

Plus le pourcentage de déchet dans la composition du mortier augmente, plus on a une meilleure isolation.

Une composition de mortier avec des déchets cartons (10,15 et 20%) est plus isolante thermiquement que celle avec des textiles.

Le mortier textile apporte une meilleure isolation phonique que le mortier en carton.

Conclusion générale et perspectives

Alors que le secteur bâtiments et le deuxième secteur le plus énergivore en Algérie, nous avons pensée à créer un nouveau matériau isolant à base de déchets carton et textile afin de réduire les gaz à effets de serre ainsi que les déchets rejeté par l'homme.

Nous somme partie d'une base de mortier normalisé et nous avons étudié l'influence d'ajout de déchets textiles et carton à différents pourcentages, sur les propriétés thermiques et phoniques du mortier à l'état durci. Notre travail a consisté à varier le pourcentage de déchet dans le mortier afin de déterminer la meilleure formulation. Les principales constatations tirées à la fin de ce travail, sont les suivantes :

- L'ajout de déchet textile dans le mortier a permis d'obtenir de bons résultats sur le plan isolation phonique.
- La composition avec 2% de tissu blanc mélangé au mortier a donné le meilleur résultat sur l'isolation phonique par apport à toutes les autres compositions.
- L'ajout de déchet carton dans la composition du mortier a permis d'augmenter la résistance thermique du mortier comparé aux autres mortiers étudié.
- La composition avec un pourcentage de substitution à 20%, apporte une meilleure isolation thermique.
- Plus le pourcentage de déchets dans la composition du mortier augmente, meilleur est l'effet isolant.

Perspectives

Dans le contexte du développement durable et des restrictions de consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, nous pensons que les études réalisées dans le présent travail peuvent être un bon axe de recherche. Afin de réduire la quantité de déchets rejetés par l'homme et d'obtenir une meilleure isolation thermique et phonique de nos maisons, nous pensons aussi que

- la confection de brique destinée à la construction avec un pourcentage de substitution allant jusqu'à 80% de déchets textiles pour une isolation phonique et par des déchets carton pour une isolation thermique.
- Etude de la durabilité du mortier avec ajout de déchets

Sont de bon axe de recherche

Références bibliographiques

Publications

ALVISET L. (1994)- Matériaux de Terre Cuite « Techniques de l'Ingénieur »,

Article L. 541-1-1 Code de l'Environnement, Prévention et gestion des déchets 2007-2017, Legi-france page. (559).

Beck J.V., B. Blackwell and C.R. St Clair. Inverse Heat conduction. – III posed Problems, Wiley Inter science Publication, 1985.

Boin U., M.J et al., (2005)- *Melting Standardized Aluminum Scrap: A Mass Balance Model for Europe* , JOM.

Bories S., M Prat, and M.Quintard., (2012)- Transferts de chaleur dans les milieux poreux - Conduction, convection, rayonnement,” *Tech. L'ingénieur*, vol. 33, no. 0, p. 1–22.

Cermak V and Rybach L., (1982)- Thermal properties: “Thermal conductivity and specific heat of minerals and rocks”, no. 1, p. 305–343.

Chandu M., &Student, U.G. (2018)- [PAPERCRETE–A SUSTAINABLE BUILDING MATERIAL \[archive\]](#). International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119(17)., 87-93.

Christine BROWAEYS. (2011)- LES MATÉRIAUX TEXTILES DANS LA RÉNOVATION DU BÂTIMENT, ATOUTS ET PERFORMANCES, pour l'observation des textiles techniques, p.14, Lille.

Claquin P., Frejefond E., Tauvel M. (2005)- Le SycTom et la problématique du traitement des vêtements usagés. SYCTOM. [Rapport de travail de groupe d'élèves]. Ecole nationale du génie rural.

Danso H, (2018)- [Identification of Key Indicators for Sustainable Construction Materials \[archive\]](#). Advanced in Materials Science and Engineering,

DePonte F and Klarsfeld S, (2002)- Conductivité thermique des isolants, *Tech. L'ingénieur*, vol. R 2 930, no. 0, p. 21.

El Wazna M. El Fatihi., El Bouari M., Cherkaoui A, (2017)- Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. Journal of building engineering, vol 12, p.196-201.

ICEB, (2015), Institut Pour la Conception Eco-responsable du bâtiment. Guide Biotech : l'énergie grise des matériaux et des ouvrages.

[Incropera, Frank P, DeWitt, David P, Bergman, Theodore L,](#) (2007). Fundamentals of heat and mass transfer. J. Wiley & Sons. Sixth edition, p.997.

Kim Y.Y., K.S Jeong., G.H Jeong., S, (2006)- An experimental study on the quantitative interpretation of local convective heat transfer for a plate fin and tube heat exchanger using the lumped capacitance method, International Journal of heat and Mass Transfer, p. 230-239.

Lukas G. Swan and V. Ism et Ugursal, (2009)- Modeling of End-Use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Techniques', Renewable and Sustainable Ener.

Mairie de Livillierssure. [«La valorisation de nos déchets »](#) [[archive](#)],

[Menet. J , Gruescu.I.C,](#) (2014), l'éco conception dans le bâtiment.

Neville. A, (2000) Propriétés des bétons, Eyrolles

Olivier PERROT. Cours de rayonnement 2010-201

Ouamane K, (2017)- DG L'AND au service de la gestion des déchets industriels Alger, gy Reviews, Vol. 13, N°8, p. 1819 – 1835

PARKER W.J. JENKINS R.J, BUTLER C.P, ABBOT G.L, (1961)- Flash Method for Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity and Thermal Conductivity. J, Vol32, p. 1679-1684.

RDC Environnement, (2009)- Etat de l'art du tri et de la valorisation des textiles d'habillement, du linge de maison et des chaussures (TLC) consommés par les ménages. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), Angers.

Salmon.D, (2001)- Thermal conductivity of insulations using guarded hot plates, including recent developments and sources of reference materials,” *Meas. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 12, p. R89

Sandin G., Peters G.M, (2018)- Environmental impact of textile reuse and recycling , A review. *Journal of cleaner production*, vol 184, p. 353-365.

Statistical Review of World Energy, (2015).

Weber S., Lynes J., Young B.S, (2017)- Fashion interest as a driver for consumer textile waste management: reuse, recycle or disposal. *International Journal of Consumer Studies*, vol 41, n°2, p.207-225.

World Wildlife Fund, (2010)- Living planet report. Technical report. World Wildlife Fund.

(VDI, *VDI Heat Atlas*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg).

Ouvrage

Agence national pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie.
Consommation énergétique finale de l'Algérie, 2015

Béguin D, (2006)- Guide de l'éco construction.

DURIEZ M, JARRAMBIDE, (1962)- Nouveau Traite De Matériaux De Construction
Edition DUNOD.

International Energy Agency (IEA). Key World Energy Statistics. 2017.

International Energy Agency (IEA). Key World Energy Statistics. 2018.

P rossi, N harrouche et A beloc, (1989)- méthode de compositions des bétons de fibre métallique, *Annales de l'IBTP* p. 38-43.

Prévention et gestion des déchets 2007-2017 LEGI-France p. 559.

Progdem, programme national pour la gestion intégrée des déchets ménagers.

Rapport de German corporation, (2014)- La gestion des déchets solides en Algérie.

Rapport Brundtland, (1987)- Notre avenir à tous. « Commission mondiale sur l'environnement et le développement ». Présidée par Gro Harlem Brundtland,

Rib J, (2016)- ma maison en carton, Dumont, page 132-134,dumas-01959175.

Simonneau R.J, (2009), Énergie grise et construction durable. Mémoire de formation HQE.
Pole Atlantique de formation continue.

Tristan Turlan. (2018)- Les Déchets : collecte, traitement, tri, recyclage, Dunod , p.289.

Thèses et mémoires

AGOUMIMELCHA A et OUANNOUGHY B. (2017)- formulation et caractérisation d'un béton léger à base de granulats obtenus par recyclage des boues de Barrage. Mémoire master, Universités de M'HAMED-BOUGARA-BOUMERDES, p. 111.

Cérézo V. (2005)- Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique. Thèse de doctorat, L'Ecole National des travaux publics de L'Etat, Lyon, France, p. 225.

Chalabi h et taleb Z (2016)- Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre .Mémoire master, UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ BOUIRA .p. 106.

Mougari B,(2016)- Etude expérimentale d'un mortier renforcé par des fibres végétales, mémoire master, UNIVERSITE MOULOUD MAMERI DE TIZI-OUZOU, p. 152.

Naitali.B, Elaboration, caractérisation et modélisation de matériaux poreux Influence de la structure poreuse sur la conductivité thermique effective, Thèse

Nguyen.L.H, (2013)- "Béton de structure à propriétés d'isolation thermique améliorées, Approche expérimentale et modélisation numérique, Université de Cergy-Pontoise.

Shink, M. (2003)- Compatibilité élastique, comportement mécanique et optimisation des bétons de granulats légers. Thèse de doctorat. Universités Laval, Québec, Canada, 172 pages.

Sotehi, N. (2010)- Caractéristique thermique des parois de bâtiments et amélioration de l'isolation. Thèse de doctorat. Universités Mentouri, Constantine, Algérie, p. 157.

Norme

BS EN 196-1 (Avril 2016) : Methods of testing cement. Determination of strength

BS EN 933-1 (Janvier 2012) : Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method.

BS EN 1097-3 (Avril 1998) : Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 3: Determination of loose bulk density and voids.

DTR C3.2. 'Réglementation Thermique des Bâtiments d'Habitation, Règles de Calcul des Déperditions Calorifiques'. CNERIB 1997.

DTR C3.2/4 'Document Technique Réglementaire, Réglementation Thermique Algérienne du Bâtiment', CNERIB, 2016.

Loi n° 01 - 19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.

NF P18-558 (Décembre 1981) : Granulats. Détermination de la masse volumique absolue des fines.

NF EN 1008(2002) : eaux de gâchage

Site web

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01959175> consulte le 22 septembre 2021.

www.zolpan.fr/isolation-thermique/isolation-thermique-par-l-exterieur/les-avantages-d-une-ite.

[Tri et Recyclage - Le devenir des matériaux triés \[archive\]](#), sur www.sytrad.fr consulté le 25 juillet 2021

www.sytrad.fr consulte le 19 juin 2021.

www.ecocompare.com consulte le 5 juillet 2021.