

Université 20 Août 1955-Skikda
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil
Réf : D012124023D



جامعة 20 أوت 1955 سكيكدة
كلية التكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية
المرجع: D012124023D

Thèse présentée en vue de l'obtention
du diplôme de

Doctorat de 3ème cycle (LMD)

Spécialité

Génie Civil

Option

Diagnostic et traitement des pathologies de la construction

Présentée par

BOUBAKOUR SAMIA

Thème

**ELABORATION D'UN ECO- MATERIAU POUR
L'UTILISATION DANS LA REHABILITATION DU
VIEUX BATI CAS D'ETUDE QUARTIER DES
ARCADES SIKKDA-ALGERIE**

Soutenue publiquement le : 08/07/2024

Dirigée par

Directrice de thèse **Hebhoub Houria** Pr Université de Skikda

Devant le jury composé de:

Présidente	Abdelouahed Assia	MCA	Université de Skikda
Examinatrice	Kechkar Chiraz	MCA	Université de Guelma
Examinatrice	Boughamsa Wassila	MCA	Université de Skikda
Examinatrice	Mouats Wassila	MCA	Université de Skikda
Invitée	Kherraf Leila	MCA	Université de Skikda

Remerciements

Avant tout je tiens à exprimer ma gratitude à Madame **Hebhoub Houria** directrice de thèse, pour m'avoir guidé tout au long de ce travail de recherche, travailler à ses côtés fut un réel plaisir

Je tiens à remercier Mademoiselle **Kherraf Leila** maitre de conférences à l'université de Skikda pour tous ses conseils avisés dans de nombreux domaines : scientifiques, techniques, rédactionnels, communications, Je la remercie vivement de sa disponibilité de tous les instants.

J'adresse mes remerciements à madame **Abdelouahed Assia**, maitre de conférences à l'université de Skikda qui m'a fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Mes remerciements vont aussi à madame **Boughamsa Wassila** , maitre de conférences à de Skikda pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail et avoir accepter la lourde tâche d'examinatrice et madame **Mouats Wassila** , maitre de conférences à l'université de Skikda pour avoir accepté de juger ce travail en effectuant un examen attentif de cette thèse.

J'exprime mes vifs remerciements et ma reconnaissance à madame **Kechkar Chiraz** maitre de conférence à l'université de Guelma d'avoir accepté d'examiner ce travail de thèse et accepté de faire partie de mon jury.

Je remercie tous le personnel et le responsable de laboratoire Matériaux, Géotechnique, Habitat et Urbanisme (LMGHU) de l'université de Skikda.

Mes remerciements s'adressent de même à tous le personnel de laboratoire national de l'habitat et de la construction (LNHC).

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

À mes chers parents

À mon mari

À ma fille

À mon frère

À ma sœur

À toute ma famille et tous mes amis

Résumé

En Algérie, les constructions se dégradent de manière appréciable surtout à "Skikda" ville côtière situé à l'Est de l'Algérie, l'environnement contribue à la détérioration du vieux bâti à cause des sels marins connu pour être un agent de détérioration des matériaux. Ce travail qui entre dans ce contexte a pour objectif la réhabilitation de ces vieux bâti détériorés par la localisation des différents problèmes qui provoque cette détérioration d'une part et l'élaboration d'un éco matériau destiné à la réparation de différentes dégradations d'autre part. Pour réaliser cette étude nous avons divisé le travail en deux parties.

Dans la première partie une étude expérimentale a été faite sur la localisation des différentes causes de dégradations du bâtiment n°10 avenue Youcef Kadid bloc 4 de l'ilot 14 situé à la rue Didouche Mourad "les arcades" ville de Skikda en soulevant les principales pathologies affectant ce bâtiment qui est exposé à l'air marin.

Dans la deuxième partie nous avons élaboré un éco matériau destiné à la réparation des dégradations de ce bâtiment. L'éco matériau est un mortier 1/3, dans ce mortier on substitue le sable ordinaire par des sables recyclés de déchets de liège et grignons d'olive avec des taux de 5, 10, 15, 20, 25 et 30 % . Les essais réalisés sur les mortiers élaborés sont : la mesure de la densité ; la consistance à l'état frais ; la résistance en compression et en traction par flexion, l'absorption d'eau par immersion et capillarité ainsi que les paramètres de durabilité (attaques par H_2SO_4 , HCL, NaCL, eau usée et pénétration des ions de chlorure) à l'état durci. Les résultats obtenus sont comparés avec des échantillons de référence de 0% de taux de substitution.

Les résultats de ce travail ont montré que l'incorporation de sable de déchets de liège et de grignons d'olives donne des performances de durabilité meilleures que celle du mortier témoin à long terme et que tous les mortiers à base des sables recyclés sont plus légers que le mortier témoin.

Mots clés: Réhabilitation, vieux bâti, sables recyclés, caractérisations, performance, durabilité.

Abstract

In Algeria, buildings are significantly deteriorating, especially in "Skikda," a coastal town located in the east of Algeria. The environment contributes to the deterioration of old buildings due to sea salts, known to be agents of building deterioration. This study aims to rehabilitate these old deteriorated buildings by identifying the various problems causing this deterioration and developing an eco-material for repairing various damages. To conduct this study, we divided the work into two parts.

In the first part, an experimental study was carried out to identify the different causes of damage to Building n° 10 on Avenue Youcef Kadid, Block 4 of Block 14, located on Rue Didouche Mourad "les arcades" in the city of Skikda. This building is exposed to the sea air.

In the second part, we developed an eco-material for repairing the damage to this building. The eco-material consists of 1/3 mortar, which ordinary sand has been replaced by recycled sand from cork and olive stone waste, at rates of 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%.

Tests conducted on the developed mortars include measurements of density and consistency in the fresh state, compression and flexural strength, water absorption by immersion and capillary action, as well as durability parameters (such as attacks by H_2SO_4 , HCL, NaCL, wastewater, and penetration of chloride ions) in the hardened state. The results obtained are compared with reference samples with a 0% substitution rate.

The results of this study indicate that the incorporation of sand from cork and olive stone waste provides better durability performance in the long term compared to the control mortar, and that all mortars containing recycled sand were lighter than the control mortar.

Key words: Rehabilitation, old buildings, recycled sand, characterizations, performance, sustainability.

ملخص

في الجزائر، تتدهور المباني بشكل ملحوظ، خاصة في مدينة "سكيكدة" الساحلية الواقعة شرق الجزائر، حيث تساهم البيئة في تدهور المباني القديمة بسبب أملاح البحر المعروفة بأنها عامل تدهور المواد. ويهدف هذا العمل الذي يدخل في هذا السياق إلى إعادة تأهيل هذه المباني القديمة المتهاكلة من خلال تحديد مختلف المشاكل المسببة لهذا التدهور من جهة وتطوير مادة بيئية مخصصة لإصلاح مختلف التدهورات من جهة أخرى. ولتنفيذ هذه الدراسة قمنا بتقسيم العمل إلى قسمين.

أجريت في الجزء الأول دراسة تجريبية للتعرف على الأسباب المختلفة للأضرار التي لحقت بالمبنى رقم 10 بشارع يوسف قديد قطعة 4 من قطعة 14 الكائنة بشارع ديدوش مراد "الاقواس" بمدينة سكيكدة. هذا المبنى معرض لهواء البحر.

وفي الجزء الثاني قمنا بتطوير مادة صديقة للبيئة مخصصة لإصلاح الأضرار التي لحقت بهذا المبنى. المادة البيئية عبارة عن ملاط بنسبة 3/1، وفي هذا الملاط تم استبدال الرمل العادي بالرمل المعاد تدويرها من نفايات الفلين وثقل الزيتون بمعدلات 5، 10، 15، 20، 25، و30%. الاختبارات التي يتم إجراؤها على الملاط المطور هي قياس الكثافة والاتساق في الحالة الطازجة والمقاومة في الضغط والشد عن طريق الانحناء، وامتصاص الماء عن طريق الغمر والشعيرية وكذلك معايير المتانة (الهجمات بواسطة H_2SO_4 ، HCL ، $NaCL$ ، مياه الصرف الصحي واختراق أيونات الكلوريد) في الحالة المتصلبة. تتم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها مع عينات مرجعية بمعدل استبدال 0%.

أظهرت نتائج هذا العمل أن دمج الرمل من مخلفات الفلين وثقل الزيتون يعطي أداء متانة أفضل من مونة التحكم على المدى الطويل وأن جميع الملاط المعتمد على الرمل المعاد تدويره أخف من مونة التحكم.

الكلمات المفتاحية: إعادة التأهيل، المباني القديمة، الرمال المعاد تدويرها، التوصيفات، الأداء، الاستدامة.

Table des matières

RESUME	i
ABSTRACT	ii
ملخص	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
INTRODUCTION GENERALE	01

CHAPITRE 1 : ETAT DES CONNAISSANCES

I.1. Introduction.....	03
I.2. Vieux bâti et tissu architectural.....	03
I.2.1.Vieux bâti en Algérie.....	03
I.2.2. Vieux bâti de la ville de Skikda.....	04
I.3. Les cause de dégradation et l’aspect de durabilité.....	05
I.3.1.Mécanisme et cause de dégradation des matériaux.....	05
I.3.2. Dégradation des matériaux de construction utilisés dans les bâtiments traditionnels aux XIXe et XXe siècles selon les matériaux.....	06
I.3.3.Différentes types des pathologies.....	09
I.3.4.Types de dégradations dans les bâtiments traditionnels.....	11
I.3.4.1.Les dégradations qui prennent la forme de mouvements d’ensemble.....	11
I.4.Diagnostic et réhabilitation des structures.....	11
I.4.1. Introduction.....	11
I.4.2.Description des travaux de réhabilitation.....	12
I.4.3. Techniques d’investigation des ouvrages.....	13
I.4.4. Méthodologie de la réhabilitation.....	13
I.4.5. Technique de réhabilitation des vieux bâtis.....	14
I.4.6. Choix des matériaux de réhabilitation.....	15
I.4.7. Exemple de réhabilitation (théâtre régional de la wilaya de Skikda-Algérie).....	16
I.5.Les éco matériaux utilisés dans la construction.....	16
I.5.1. Qu’est-ce qu’un éco matériau ?	16
I.5.2.Eco-matériaux utilisés dans la réhabilitation des vieux bâtis.....	17
I.5.3.Valorisation des déchets dans les eco-materiaux.....	17
I.6. Conclusion.....	19

CHAPITRE II: CAS D’ETUDE: REHABILITATION D’UN IMMEUBLE VIEUX BATIS SITUE SUR LE BOULEVARD DIDOUCHE MOURAD (LES ARCADES SKIKDA- ALGERIE)

II.1. Introduction.....	20
II.2. Cas d’étude.....	20
II.2.1. Situation et information du projet global.....	20
II.2.2. Genèse historique.....	21
II.2.3. Présentation du projet particulier.....	21
II.2.3.1. Situation du projet.....	21
II.2.3.2. Style architectural de la façade.....	23
II.2.3.3. Composition du bâtiment et usage.....	23
II.2.3.4. Description du système structurel.....	24

II. 2.4. Analyse et diagnostic du bâtiment objet d'étude.....	24
II .2.4.1 Méthode de diagnostic.....	24
II.2.5. Différents types de pathologies affectant le bâtiment.....	25
II.2.5.1. Pathologies mécaniques.....	25
II.2.5.2. Pathologie physiques.....	28
II.2.5.3. Pathologie chimiques.....	30
II.2.5.4. Pathologie anthropiques.....	31
II.2.6 .Les causes principales des pathologies qui affectent ce bâtiment.....	33
II.2.7. Représentation graphiques de l'état des lieux.....	33
II.2.8. Les conséquences graves sur le bâtiment.....	33
II.2.9. Intervention pour la conservation.....	33
II.2.9.1. Structure porteuse verticale.....	34
II.2.9.2. Planchers.....	34
II.2.9.3. Toiture et terrasse.....	34
II.2.9.4. Enduit en ciment.....	34
II.2.9.5. Escalier.....	34
II.2.9.6. Eléments secondaires.....	34
II.2.9.7. Les réseaux d'assainissement.....	35
II.3. Conclusion.....	35

CHAPITRE III : CARACTERISATION DES MATERIAUX, PROGRAMME EXPERIMENTAL ET METHODOLOGIE D'ESSAI

III.1. Introduction.....	36
III.2. Caractérisation des matériaux.....	36
III.2.1. Ciment.....	36
III.2.2. Sable.....	38
III.2.3. Eau de gâchage.....	40
III.3. Programme expérimental et méthodes d'essais.....	40
III.3.1. Programme expérimental.....	40
III.3. 2. Formulation des mélanges.....	41
III.3.3. Fabrication des mélanges.....	42
III.3.4. Méthodes d'essais.....	45
III.3.4.1 Essai à l'état frais.....	45
III.3.4.2. Essai à l'état durci.....	47
III.4. Conclusion.....	53

CHAPITRE IV : INFLUENCE DU TAUX DE SUBSTITUTION DES SABLES RECYCLES SUR LES PROPRIETES DU MORTIER A L'ETAT FRAIS ET DURCI AINSI QUE LES PARAMETRE DE DURABILITE

IV.1. Introduction.....	54
IV.2. Influence du taux de substitution sur les propriétés des mortiers.....	54
IV.2.1. Influence du taux de substitution sur les propriétés des mortiers a l'état frais...	54
IV.2.1.1 Consistance.....	54
IV.2.1.2. Densité.....	55
IV.2.2. Influence du taux de substitution sur les propriétés des mortiers a l'état frais...	55
IV.2.2.1. Résistance à la compression.....	55
IV.2.2.2. Résistance à la traction par flexion.....	57

IV.2.2.3. Absorption d'eau par immersion.....	58
IV.2.2.4. Absorption d'eau par capillarité.....	59
IV.2.2.5. Pénétration des chlorures.....	60
IV.2.2.6. Résistance chimique des mortiers dans les milieux agressifs.....	61
IV.3. Conclusion.....	68
CONCLUSIONS GENERALES.....	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	71
ANNEXES	

Liste des figures

CHAPITRE 1 : ETAT DES CONNAISSANCES

Figure I-1: Commune de Skikda.....	04
Figure I-2: Types de typologie architecturale.....	05
Figure I-3: Évidement progressif du blocage d'un mur et détachement du parement provoquant un bombement.....	06
Figure I-4: Classification des formes d'altération selon le glossaire de l'ICOMOS.....	07
Figure I-5: Dégradation du bois.....	08
Figure I-6: Fissures sur la maçonnerie, la pierre et la brique.....	10
Figure I-7: Fissure ouverte suit les joints de la maçonnerie.....	10
Figure I-8: Tests et procédures en vue d'un diagnostic structurel.....	14
Figure I-9: Conséquences d'un rejointoiement bâclé et avec un mortier inadapté.....	15
Figure I-10: Utilisation d'un mortier adapté au rejointoiement.....	16

CHAPITRE II: CAS D'ETUDE: REHABILITATION D'UN IMMEUBLE VIEUX BATIS SITUE SUR LE BOULEVARD DIDOUCHE MOURAD (LES ARCADES SKIKDA- ALGERIE)

Figure II-1: Bâtiment n° 04 de l'îlot 14.	22
Figure II-2: Façade.....	23
Figure II-3: Fissure verticale au mur du 3ème étage.	26
Figure II-4: Fissure verticale au mur.....	27
Figure II-5: Fissures et petites pertes De matériauaux jambages.	27
Figure II-6: Escalier du RDC au premier étage.....	27
Figure II-7: Détail de l'état auquel se trouve jonction du montant d'escalier du bloc 14.04 avec le palier de l'escalier du premier étage.	28
Figure II-8: Faux plafond tombés.	28
Figure II-9: Humidité de capillarité au mur de la façade latérale sud.....	29
Figure II-10: Taches de condensation sous les poutrelles métalliques.	29
Figure II-11: Descente endommagée à la façade postérieure.	30
Figure II-12: Corrosion des poutrelles métalliques.....	31
Figure II-13: Poutre corrodée du palier.....	31
Figure II-14: Climatiseurs et antennes qui altèrent l'image du bâtiment.....	32
Figure II-15: Constructions ajoutées au niveau de la terrasse.....	32

CHAPITRE III : CARACTERISATION DES MATERIAUX, PROGRAMME EXPERIMENTAL ET METHODOLOGIE D'ESSAI

Figure III-1: Mesure de la densité.....	36
Figure III-2: Mesure de la surface spécifique de Blaine.....	37
Figure III-3: Appareil de Vicat.....	37
Figure III-4: Types de sable.....	38
Figure III-5: Courbes granulométriques des trois types des sables.....	40
Figure III-6: Malaxeur de mortier.....	42
Figure III-7: Moule prismatiques (40x40x160) mm.....	43
Figure III-8: Moule prismatiques (50x50x50) mm.....	43
Figure III-9: Moule avant le décoffrage.....	44

Figure III-10: Eprouvettes après décoffrage.....	44
Figure III-11: Conservation des éprouvettes.....	45
Figure III-12: Mesure de l'étalement.....	46
Figure III-13: Mesuré de la densité.....	46
Figure III-14: Dispositifs pour l'essai de flexion.....	47
Figure III-15: Essai de traction par flexion.....	47
Figure III-16: Essai de compression.....	48
Figure III-17: Etuves pour l'essai d'absorption d'eau par immersion.....	49
Figure III-18: Sciage des éprouvettes.....	50
Figure III-19: Eprouvettes traités par le nitrate d'argent $AgNO_3$	50
Figure III-20: Conservation des éprouvettes dans HCL.....	51
Figure III-21: Conservation des éprouvettes dans H_2SO_4	51
Figure III-22: Conservation des éprouvettes dans NaCL.....	51
Figure III-23: Conservation des éprouvettes dans Eau usée.....	52
Figure III-24: Pesée des échantillons.....	52

CHAPITRE IV : INFLUENCE DU TAUX DE SUBSTITUTION DES SABLES RECYCLES SUR LES PROPRIETES DU MORTIER A L'ETAT FRAIS ET DURCI AINSI QUE LES PARAMETRE DE DURABILITE

Figure IV-1: Corrélation entre la cohérence et le taux de substitution.....	54
Figure IV-02: Corrélation entre la densité à l'état frais et le taux de substitution.	55
Figure IV-3: Effet du taux de substitution sur la résistance à la compression.	57
Figure IV-4: Effet du taux de substitution sur la résistance à la traction par flexion.....	57
Figure IV-5: Absorption d'eau par immersion en fonction du taux de substitution.....	58
Figure IV-6: Variation de l'absorption d'eau par capillarité.	59
Figure IV-7: Profondeur de pénétration des chlorures en fonction du temps après immersion dans 5% de NaCL.....	60
Figure IV-8: Variation de la perte de masse des mortiers a base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans 3% HCl.....	61
Figure IV-9: Variation de la perte de masse des mortiers a base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion dans 3% HCl.....	62
Figure IV-10: Variation de la perte de masse des mortiers a base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans 3% H_2SO_4	64
Figure IV-11: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion dans 3% H_2SO_4	65
Figure IV-12: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans 3% NaCL.....	65
Figure IV-13: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion 3% NaCL.....	66
Figure IV-14: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans l'eau usée.....	67
Figure IV-15: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion dans l'eau usée.....	67

Liste des tableaux

CHAPITRE III : CARACTERISATION DES MATERIAUX, PROGRAMME EXPERIMENTAL ET METHODOLOGIE D'ESSAI

Tableau III-1: Propriétés mécaniques du CPJ-CEM II 42.5.....	37
Tableau III-2: Composition chimique du ciment.....	38
Tableau III-3 : Propriétés du sable ordinaire.....	39
Tableau III-4: Propriétés du sable de liège.....	39
Tableau III-5: Propriétés du sable de grignons d'olives.....	39
Tableau III-6: Analyse chimique de l'eau.....	40
Tableau III-7: Composition des mélanges.....	41

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Les anciennes constructions sont entièrement conçues à partir de matériaux sains et naturels tels que la terre, le bois et la pierre. Cependant, de nos jours, elles risquent de perdre leur caractère distinctif à cause de multiples facteurs tels que : le processus naturel de vieillissement des matériaux, l'exposition aux aléas climatiques et aux variations météorologiques, le défaut d'entretien régulier de ces édifices, les mouvements de terrain ou les séismes susceptibles de les endommager, l'impact de la pollution atmosphérique sur leur structure, les ravages occasionnés par les insectes, les champignons et autres organismes nuisibles, l'utilisation inappropriée ou abusive de ces bâtiments et le manque de sensibilisation à l'importance de préserver le patrimoine architectural. Il est donc impératif de les réhabiliter afin de préserver un patrimoine qui témoigne d'une période cruciale de l'histoire du pays. Skikda, à l'instar d'autres départements de l'Algérie, abrite un patrimoine colonial très significatif.

Cependant, malheureusement, ces édifices risquent de devenir des ruines d'ici une dizaine d'années malgré les travaux de réhabilitation occasionnels déjà entrepris. De ce fait, la restauration et l'innovation de ces constructions doivent être menées avec soin et expertise, en respectant l'authenticité architecturale et historique tout en intégrant des techniques modernes et durables.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de thèse, le cas d'étude choisi est le bâtiment n°10 de l'avenue Youcef Kadid bloc 4 de l'ilot 14 sis la rue Didouche Mourad (les arcades) qui est l'une des artères principales de Skikda- l'Algérie.

Une étude de diagnostic détaillée a été effectuée sur ce bâtiment afin de restaurer son image et d'améliorer sa fonctionnalité, nous avons proposé des travaux de réhabilitation intégrant l'utilisation d'un mortier de rejointoiement ou de revêtement respectueux de l'environnement, formulé à partir de déchets de sable de liège et des grignons d'olives. Notre principal souci était d'obtenir un mortier léger présentant de meilleures performances avec une durabilité satisfaisante afin de :

- Participer à la valorisation des déchets de sable de liège et des grignons d'olives en les intégrant dans la composition du mortier, envisageant ainsi leur utilisation potentielle dans la réhabilitation des structures anciennes, ce qui permettrait de réduire les contraintes exercées sur la brique ancienne.
- Sensibiliser les experts à l'approche écologique, globale de la réhabilitation du patrimoine bâti.

Pour atteindre les objectifs cités ci-dessus nous avons suivi les étapes ci-dessous :

- Établissement d'un diagnostic sur le bâtiment objet de l'étude et détermination des causes de dégradation des mortiers au niveau des joints.
- Choix des matériaux de substitution du sable utilisé : le liège, les grignons d'olives.
- Confection d'un large programme expérimental.

Donc on essaye d'apporter des réponses aux questions suivantes :

- Est-ce possible d'utiliser les déchets issus de liège et grignons d'olives dans la composition du mortier pour la réhabilitation de rejointoiement des briques ?
- Les sables (liège et grignons d'olives) peuvent-ils impacter positivement les performances et la durabilité du mortier d'étude?
- Est-ce que le mortier avec ajouts végétaux présente des avantages pour l'utilisation dans la réhabilitation du vieux bâti ?

Pour répondre à ces préoccupations et bien traiter le sujet, ma thèse de doctorat comportera quatre chapitres :

Une introduction générale présente la problématique, l'objectif du travail, les motifs et la méthodologie adoptée.

Un **premier chapitre** comporte une synthèse bibliographique sur les pathologies générales, les causes de dégradations et l'aspect de durabilité du vieux bâti, le diagnostic et la réhabilitation des structures. Il décrit aussi les éco-matériaux utilisés dans la construction.

Au **deuxième chapitre**, est reporté l'étude de réhabilitation de la superstructure d'un immeuble vieux bâtis bâtiment n°10 bloc 4 de l'ilot 14 situé à la rue Didouche Mourad (les arcades) Skikda – Algérie en présentant toutes les pathologies qui affectent l'immeuble et nous proposons des solutions pour la grosse réparation de ce dernier.

Le **troisième chapitre** décrit la provenance et la caractérisation des matériaux utilisés pour réaliser ce travail à savoir les matériaux qui sont le sable de carrière, le ciment, les sables de liège ou grignons d'olives. Il présente les résultats des essais de caractérisations pour chaque matériau utilisé dans cette étude. Nous précisons le programme expérimental, la formulation des différentes compositions et les méthodes de fabrication des mélanges pour chaque essai. On décrit également dans ce chapitre les principaux essais réalisés sur les différentes formulations retenues dans cette étude.

Au **quatrième chapitre** nous avons étudié l'effet de l'influence des sables de liège ou des grignons d'olives sur les propriétés du mortier à l'état frais (densité et ouvrabilité) et les résistances mécaniques obtenues par les essais destructifs, ainsi que l'absorption d'eau par immersion et l'absorption d'eau par capillarité à l'état durci. Nous analysons l'ensemble des résultats obtenus et les principaux résultats des essais réalisés sur la durabilité, nous avons étudié l'effet du taux de substitution des sables par les déchets de liège et des grignons d'olives sur le comportement du mortier vis-à-vis de la pénétration des chlorures et les attaques chimiques par les acides, NaCl et les eaux usées.

Enfin une conclusion générale pour clôturer ce travail de thèse.

CHAPITRE 1

Etat des connaissances

I. Etat de connaissances

I.1. Introduction

Les matériaux et les formes de construction sont les éléments essentiels pour la durabilité de l'ancien bâti; avant d'élaborer un diagnostic des dommages qui affectent les bâtiments il faut en premier lieu connaître les matériaux et les typologies structurelles. Il est crucial d'avoir toutes les informations sur les changements et/ou interventions effectuées au fil des années, en prenant en compte les multiples usages auxquels le bâtiment est destiné (**Díaz Gómez (2007)**).

Le but de ce chapitre est de passer en revue les connaissances bibliographiques sur les pathologies du vieux bâti et les causes de dégradations aussi, des données différentes concernant le diagnostic et la réhabilitation du vieux bâti, les éco matériaux utilisés dans la construction et en particulier la valorisation des déchets de liège et grignons d'olives dans le mortier comme substituant de sable ou de ciment.

I.2. Vieux bâti et tissu architectural

I.2.1. Vieux bâti en Algérie

Aujourd'hui l'héritage colonial joue un rôle majeur dans la structuration des espaces, à l'enrichissement des typologies architecturales et à la définition de l'image urbaine. Le style néoclassique français sera le plus répandu en Algérie Jusqu'à la clôture du 19^{ème} siècle. Au 20^{ème} siècle l'arrivée du style Jonnart en Algérie a marqué le déclin de l'architecture néoclassique en faveur de courants orientaux tel que précisé par (**Deluz (1988)**) aspirent à reconstituer le style islamique et à mettre en avant la culture populaire.

En dépeignant la France comme une nation protectrice et attachée aux traditions, ce style du protecteur, vise à gagner la sympathie des autochtones dès 1898, une approche inédite pour la conception des bâtiments publics emblématiques et prestigieux, dont beaucoup continue de laisser une empreinte indélébile sur le paysage urbain de plusieurs villes algériennes, seront construits.

On pourra mentionner à titre d'exemples, le siège (architecte Henri Petit) ou encore la grande poste (architectes Voinot et Tondoire) à Alger, l'Hôtel Cirta à Constantine (**Aiche (2006)**).

Plusieurs critiques négatives formulées par des professionnels de l'époque à l'encontre de cette architecture considérée comme de pastiche, seront adressées à cette forme d'orientalisme. Ce genre continuera d'avoir des adeptes jusqu'à la fin des années 1930 (**Aiche (2002)**).

Le parc de constructions en Algérie se dégrade de manière significative, malgré quelques initiatives nationales et internationales pour la préservation de quelques centres historiques emblématiques, à l'instar de l'inscription de la casbah d'Alger et de la vallée du M'Zab sur la liste du patrimoine mondial (**Benedjma (2021)**).

I.2.2. Vieux bâti de la ville de Skikda

a. Présentation de la ville de Skikda

Skikda était autrefois connue sous le nom Russicada pendant la période phénicienne et romaine puis Philippeville lors de la colonisation française, la wilaya de Skikda (figure I-1) s'étend sur une superficie de 4 137,68 km² et occupe une position stratégique au Nord –Est de l'Algérie, elle est bordée au Nord par la mer méditerranée et limitée au Sud par la wilaya de Constantine et la wilaya de Mila, à l'Est la wilaya d'Annaba et la wilaya de Guelma, à l'Ouest la wilaya de Jijel. Elle dispose de 130 km de côtes qui s'étalent d'El Marsa à l'est jusqu'à Oued Z'hour au fin fond du massif de Collo à l'ouest (Wilaya de Skikda). La commune de Skikda occupe la partie centrale de la wilaya sur une superficie de 52 Km².



Figure I-1: Commune de Skikda (google map)

Le chef-lieu de la commune de Skikda est caractérisé par un tissu urbain du type colonial qui est en mauvais état, la superficie de ce tissu s'étend sur 190 Hectares et il est situé au Nord de la ville de Skikda. Le centre-ville de Skikda se distingue par un style européen qui remonte à l'époque Française, avec un plan en damier. Ce tissu connu sous le nom de noyau colonial, représente le centre historique, il continue de se dégrader malgré les opérations de restauration et de réhabilitation qu'il a subies.

b. Tissus architecturaux dans la ville de Skikda

D'après la figure I-2, il est possible de classer six (06) types de bâtiments en fonction de leur structure architecturale.



Figure I-2: Typologie architecturale

A partir de la lecture des façades, les types de façades distinguées sont, le néo-classique de 1840 à 1860 (figure I-2(a)), l'éclectique de 1861 à 1913 (figure I-2(b)), l'art nouveau de 1913 à 1936 (figure I-2(c)), l'art déco de 1913 à 1936 (figure I-2(d)), le néo-Mauresque, un mélange de pastiche de l'architecture arabo-musulmane de 1913 à 1936 (figure I-2(e)) et le mouvement moderne de 1936 jusqu'à ce jour (figure I-2(f)) (Soltane (2022)).

I.3. Les cause de dégradation et l'aspect de durabilité

I.3.1. Mécanisme et cause de dégradation des matériaux

Lorsque les matériaux sont mouillés d'eau, leur résistance mécanique diminue, de la même manière, la contrainte de rupture d'une pierre calcaire dont la porosité atteint 35% varie du simple au triple en fonction de son état de sécheresse ou d'humidité. Dans le cas où l'eau de saturation de cette pierre est chimiquement neutre, la contrainte initiale de rupture à sec sera rétablie en évaporant simplement l'humidité. Toutefois, les nitrates qui imprègnent la maison provoquent la décomposition irréversible de certains de ces composants essentiels tels que les mortiers de chaux et les pierres calcaires. Une augmentation de près de 15 % du poids propre des maçonneries ordinaires perméables est observée lorsqu'elles sont saturées par l'humidité. Ainsi, les contraintes subies par un ouvrage mouillé, moins résistant et plus lourd qu'un ouvrage sec, peuvent entraîner des déformations irréversibles éventuellement sérieuses. (Coignet et Coignet (2012)).

Les principales causes de dégradations dans les bâtiments sont:

- Instabilité des sols de fondations, affaissement et gonflement du terrain, etc.
- Faiblesse de la fondation superficielle du bâtiment.
- Niveau de la nappe souterraine.
- Vieillessement naturel des matériaux.

- Poussées latérales sur les murs d'appuis (caves, ruines mitoyennes, etc.).
- Charges par les poids propres.
- Poussées des arcs et des planchers en voûtes.
- Mauvaise qualité des matériaux et/ou de la mise en œuvre (mauvaise protection contre l'humidité).
- Mauvaise isolation des constructions qui se trouvent dans des zones d'humidité, etc.).
- Changement des conditions hydrogéologiques du sol de fondation.
- Déséquilibre du régime thermique de température et d'humidité du bâtiment.
- Construction de caves et de puisards.
- Creusage de fouilles (pour câbles, canalisations, etc.).

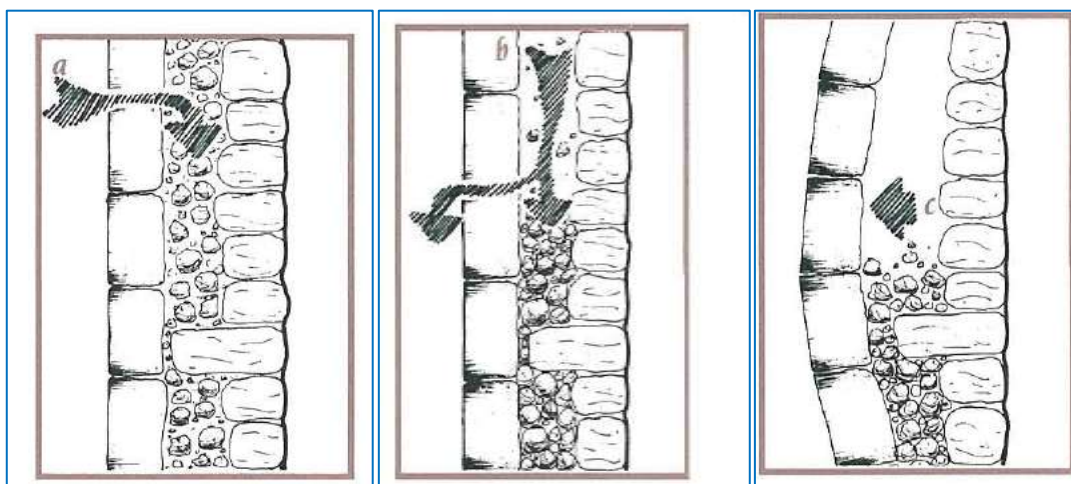
La pierre, la terre, le bois, le fer et le béton étaient les principaux matériaux de construction utilisés dans les bâtiments traditionnels aux XIXe et XXe siècles (**Raftani et Hassouni (2018)**).

I.3.2. Dégradation des matériaux de construction utilisés dans les bâtiments traditionnels aux XIXe et XXe siècles selon les matériaux

a. Dégradation de la pierre

Le bombement ou le déversement d'un mur sont souvent provoqués par l'évidement progressif du blocage, ce qui engendre le décrochement du revêtement extérieur. Lorsque l'eau pénètre dans le mur dilue la chaux et évacue les petites particules qui forment le blocage, laissant ainsi des vides à l'intérieur du mur.

La présence de ces vides le rend plus sensible à l'action du gel de l'eau qui s'infiltre, ce qui entraîne une pression sur les pierres de parement de l'assemblage, et le déstabilise (figure I-3).



a) Infiltration d'eau b) Evidement du mortier c) Pression sur les pierres de parement et tassement des petites pierres.

Figure I-3: Évidement progressif du blocage d'un mur et détachement du parement provoquant un bombement (**Guide technique la maçonnerie de pierre (1989)**).

Selon (Vergès-Belmin ICOMOS (2008)).

- La dégradation se réfère à toute modification chimique ou physique des caractéristiques intrinsèques de la pierre, conduisant à une perte de valeur, de qualité ou à une entrave à son utilisation.
- L'altération désigne toute modification du matériau qui n'entraîne pas forcément une dégradation de ses caractéristiques du point de vue de sa conservation. Par exemple, l'application d'un revêtement réversible sur une pierre peut être interprétée comme une altération.
- L'altération météorique se réfère à la modification des propriétés physicochimiques de la pierre par les éléments naturels présents dans l'atmosphère (figure I-4).






GENERAL TERMS . TERMES GÉNÉRAUX				
ALTERATION . ALTÉRATION DAMAGE . DÉGRADATION DECAY . DÉGRADATION DEGRADATION . DÉGRADATION DETERIORATION . DÉGRADATION WEATHERING . ALTÉRATION MÉTÉORIQUE				
				
CRACK & DEFORMATION FISSURE & DÉFORMATION	DETACHMENT DÉTACHEMENT	FEATURES INDUCED BY MATERIAL LOSS FIGURES INDUITES PAR UNE PERTE DE MATIÈRE	DISCOLORATION & DEPOSIT ALTÉRATION CHROMATIQUE ET DÉPÔT	BIOLOGICAL COLONIZATION COLONISATION BIOLOGIQUE
CRACK . FISSURE Fracture . Fracture Star crack . Fissuration en étoile Hair crack . Microfissure Craquelle . Craquellement Splitting . Clivage	BLISTERING . BOURSOUFLURE BURSTING . ECLATEMENT DELAMINATION . DÉLITAGE Exfoliation . Exfoliation	ALVEOLIZATION . ALVÉOLISATION Coving . Creusement	CRUST . CROÛTE Black crust . Croûte noire Salt crust . Croûte saline	BIOLOGICAL COLONIZATION . COLONISATION BIOLOGIQUE ALGA . ALGUE LICHEN . LICHEN MOSS . MOUSSE MOULD . MOISSISSURE PLANT . PLANTE
DEFORMATION . DÉFORMATION	DISINTEGRATION . DESAGRÉGATION Crumbling . Emiettement Granular disintegration . Désagrégation granulaire Powdering, Chalking . Pulvérencence, Farinage Sanding . Désagrégation sableuse Sugaring . Désagrégation saccharoïde	EROSION . ÉROSION Differential erosion . Erosion différentielle Loss . Perte : of components . de constituants of matrix . de matrice Rounding . Erosion en boule Roughening . Augmentation de rugosité	DEPOSIT . DÉPÔT DISCOLOURATION . ALTÉRATION CHROMATIQUE Colouration . Coloration Bleaching . Décoloration Moist area . Assombrissement dû à l'humidité Staining . Tache	
	FRAGMENTATION . FRAGMENTATION Splintering . Fragmentation en esquilles Chipping . Epaufrage	MECHANICAL DAMAGE . DÉGÂT MÉCANIQUE Impact damage . Trace d'impact Cut . Incision Scratch . Rayure Abrasion . Abrasion Keying . Bûchage	EFFLORESCENCE . EFFLORESCENCE ENCRUSTATION . ENCRÔTEMENT Concretion . Concrétion	
	PEELING . PELAGE SCALING . DESQUAMATION Flaking . Ecaillage Contour scaling . Desquamation en plaque	MICROKARST . MICROKARST MISSING PART . PARTIE MANQUANTE Gap . Trou	FILM . FILM GLOSSY ASPECT . ASPECT LUISANT GRAFFITI . GRAFFITI PATINA . PATINE Iron rich patina . Patine ferrugineuse Oxalate patina . Patine d'oxalates	
		PERFORATION . PERFORATION PITTING . PITTING	SOILING . ENCRASSEMENT SUBFLORESCENCE . SUBFLORESCENCE	

Figure I-4: Classification des formes d'altération selon le glossaire de l'ICOMOS (Vergès-Belmin ICOMOS (2008))

b. Dégradation de la terre

Les pathologies les plus courantes sont associées à l'humidité. Elles sont également les plus raves car elles sont d'ordre structurel. Si elles ne sont pas prises en compte, elles peuvent causer la ruine de la construction. Il faut souligner que le matériau terre est peu adapté aux efforts de traction, flexion ou cisaillement, mais il est performant en compression. Les désordres se manifestent principalement de trois manières:

-Les fissures de retrait sont un signe révélateur de la mauvaise qualité de la terre utilisée, en raison de son excès d'humidité lors de l'élévation des murs, d'un séchage trop rapide ou encore à de fortes variations hygrométriques.

-Le flambement des murs, peut se manifester quand les murs aient une forme de ventre, sans que des fissures apparaissent, car la terre présente d'importantes propriétés de fluage. Ce phénomène est causé par des contraintes mécaniques importantes, telles qu'un élancement excessif du mur, l'absence de chaînage ou un nombre trop élevé d'ouvertures.

-La décomposition de la terre, dans la majorité des cas, est le résultat d'une pathologie humide, le matériau devient friable, s'effrite, s'érode; il est également possible que cela soit dû à un mauvais choix de terre, une mauvaise exécution, l'action de parasites végétaux, d'insectes ou de rongeurs, les influences climatiques (pluie et vent) (**De Brandois et Babics (2006)**).

c. Dégradation du bois,

La grande partie des pathologies sont dues à des problèmes d'humidité, et ils peuvent provenir de différentes sources; les infiltrations d'eau par des défauts de couverture, les remontées capillaires, les défauts d'étanchéité à l'air, les revêtements inadéquats à l'intérieur et à l'extérieur qui ralentissent le processus de séchage (figure I-5).



Figure I-5: Dégradation du bois

d. Dégradation du fer

Le fer était utilisé dans les bâtiments anciens principalement pour les petits éléments tels que les clous, vis et boulonnages. Ceux-ci ont été utilisés pour connecter les éléments en bois entre eux, relier les murs de maçonnerie entre eux et relier également les planchers de bois aux murs de maçonnerie. Le problème principal de ce matériau est la corrosion due au manque d'entretien en raison de l'inaccessibilité aux éléments. Le risque d'oxydation est en premier lieu la perte de coupe transversale utile des éléments et deuxièmement, l'effet de la destruction causé par l'augmentation du volume des éléments métalliques qui peuvent provoquer la rupture de la maçonnerie (**Meireles et Bento (2013)**).

e. Dégradation du béton

Les facteurs les plus importants de dégradation du béton sont:

- Les altérations chimiques telles que la corrosion des aciers, la dissolution de la matrice cimentaire, l'alcali-réaction, la biodétérioration.
- Les altérations mécaniques dues aux surcharges, aux cycles de fatigue.
- Les altérations physiques causées par les chocs, l'abrasion, les cycles gel/dégel.
- Les altérations hygrothermiques provoquées par la température (**Aidoud (2023)**).

I.3.3. Différentes types des pathologies

a. Les dégradations superficielles

Le faïençage est défini comme une craquelure superficielle des peintures, vernis, enduits et bétons, sous la forme de minuscules réseaux de microfissures de largeur inférieure à 0.2mm, disposées en mailles régulières fermées, de quelques cm de côté. Le faïençage se caractérise par un retrait superficiel trop important ou trop rapide (remontée de liant en surface, couche trop épaisse). A la différence des fissures, qui altèrent les matériaux dans toute leur épaisseur, les faïençages ne présentent qu'un désavantage esthétique (**Kesteloot (2023)**).

b. Les déformations d'origine thermique (retrait et dilatation)

Il est inévitable que l'élément de construction subisse un retrait et un gonflement en raison de sa composition, en présence du ciment et de terre cuite. Il se manifeste par une réduction et/ou une extension de la pièce (**Philipparie (2021)**).

c. Les fissures

Généralement, une fissure est une rupture qui devient apparente entre des éléments adjacents. Effectivement, c'est un écart de forme qui peut être interprété comme une déformation. Le processus de configuration des fissures dans la maçonnerie et le béton est un processus progressif (figure I-6), qui commence par des fissures extrêmement petites et se termine par des fissures de grande envergure (**Stylianidis (2020)**).



Figure I-6: Fissures sur la maçonnerie, la pierre et la brique
(Source Pixabay / CC0 Creative Commons)

Les fissures ou les lézardes qui ont une inclinaison voisine de 45° indiquent une déformation de l'assise du mur en un point ou une zone spécifique. Ces fissures sont similaires à celles causées par l'effort tranchant d'une poutre. Les fissures résultant d'un tassement excessif du sol d'assise des fondations d'un mur seront incluses dans cette catégorie.

Quand le mur est fait de blocs maçonnés, les fissures pourront suivre les joints et créer des escaliers distinctifs, tout en gardant une inclinaison d'allure générale à 45° (figure I-7).



Figure I-7: Fissure ouverte suit les joints de la maçonnerie (Philipparie (2021))

Divers problèmes peuvent provoquer des fissures tels que le tassement des fondations ou du sol, le déplacement du plancher après l'enlèvement d'un élément porteur, la dégradation de la structure bois sous l'effet de l'humidité. Leur profondeur de la micro-fissure de l'enduit à la lézarde en maçonnerie et leur sens (horizontal au niveau d'un plancher, oblique au niveau d'une allège de fenêtre ou vertical le long d'un mur...), permettent de déterminer l'origine d'un désordre structurel et son ampleur (Agence national de l'habitat (2010)).

d. Les dégradations d'ordre structurel

Il est possible de repérer les principaux dommages qui affectent l'architecture traditionnelle, en particulier dans les zones sismiques. Grâce au fonctionnement des constructions traditionnelles telles que les murs de maçonnerie, il est possible d'observer et d'étudier les processus de dégradation sur des points spécifiques de la structure.

La caractéristique principale de la structure des murs porteurs est qu'elle peut être divisée en plusieurs éléments dont le fonctionnement mécanique est cohérent et indépendant, contrairement à une structure à ossature où les éléments sont interdépendants les uns des autres. Cette caractéristique essentielle permet d'étudier les différents stades de dégradation au niveau des éléments structurels simples, puis de comprendre les systèmes plus complexes qui en résultent (**Casanovas (2012)**).

I.3.4.Types de dégradations dans les bâtiments traditionnels

I.3.4.1.Les dégradations qui prennent la forme de mouvements d'ensemble

Les dégradations qui prennent la forme de mouvements d'ensemble, généralement dues aux plusieurs causes (**Raftani et Hassouni (2018)**)

a. Tassement différentiel

Le tassement différentiel est le mouvement relatif de différentes parties de la structure en raison d'une consolidation inégale du sol d'appui (**FUSO et STAC (2012)**).

b. Mouvement du sol

Un grand mouvement peut se produire avec les argiles, car ceux-ci sont capables d'absorber et d'abandonner de grandes quantités d'humidité: le séchage entraîne un retrait et un gain de résistance, et absorption au gonflement et perte de force. Le mouvement dans les sables est pour la plupart négligeable, car ils ont peu de capacité à retenir l'eau. Les limons ont un mouvement qui se situe entre celui des argiles et des sables, les changements dans la teneur en eau des sols peuvent être causés de plusieurs manières, le plus évident est celui causé lorsque le sol est chargé par le poids des fondations et du bâtiment superposé (**Ransom (1987)**).

c. Tremblement de terre

Le phénomène du tremblement de terre se manifeste par des déplacements rapides du sol, qui ont un impact sur l'ensemble de la structure en trois dimensions (**Bakhoum (2010)**).

I.4. Diagnostics et réhabilitation des structures

I. 4.1. Introduction

La réhabilitation d'un bâtiment est une opération importante qui nécessite un investissement considérable, il est donc primordial de garantir une performance optimale tout en prolongeant la durée de vie du bâtiment. Il est indispensable de prendre en compte les caractéristiques

thermiques et hygrothermiques de l'ancien bâti pour assurer une rénovation durable (**Fajeau et al (2015)**).

I.4.2. Description des travaux de réhabilitation

a. Réhabilitation légère

Elle concerne les bâtiments récents, en bon état et porte sur:

- La réfection de l'étanchéité et le renforcement de l'isolation au niveau de certains matériaux,
- L'amélioration des équipements existants ou leur renouvellement des travaux de réfection superficielle touchant notamment aux parties communs, aux espaces extérieurs ou à certaines installations.

b. Réhabilitation moyenne

La structure est en bon état, mais les immeubles ne sont pas suffisamment équipés, elle comprend:

- La réorganisation des espaces.
- La création d'équipements nouveaux ou le renouvellement de ceux existants.
- L'introduction des éléments de confort nécessaires à une bonne habitabilité tels que: wc, salle de bain et cuisine.
- Les transformations apportées induisent parfois de nouvelles charges la structure est alors renforcée par endroits.

c. Réhabilitation lourde

La structure ne répond pas aux exigences de salubrité et de sécurité. Les travaux portent sur:

- Le renforcement du gros œuvre ou le remplacement des structures par endroit.
- La redistribution partielle ou totale des espaces (agrandissement des logements, des parties communes,...).
- Le changement des installations d'électricité et de plomberie sanitaire où leur mise aux normes actuelles.
- La création d'équipements nouveaux.

La notion de réhabilitation lourde intègre également la rénovation des vieux quartiers avec des travaux de démolition et des constructions nouvelles ainsi que l'aménagement de nouveaux espaces pour une valorisation de la perception du quartier (**Document produit en commission ministérielle (2005)**).

d. Réhabilitation exceptionnelle

Dans le cas où les désordres ou l'état de la structure mettent en péril l'intégrité et la stabilité de l'ouvrage cette opération est recommandée. En conséquence, on renforce les structures ou les fondations éventuellement. C'est le cas, entre autres, d'immeubles dont les façades sont classées et doivent obligatoirement être préservées en étant restaurées (nettoyage, réparation), tandis que la structure intérieure (planchers, refends porteurs) est complètement reconstruite (**Ait Hamouda (2013)**).

I.4.3. Techniques d'investigation des ouvrages

Deux voies complémentaires sont utilisées pour examiner les ouvrages ; une voie non-destructive et une voie destructive.

Lors de l'étude des monuments historiques classés et inscrits, il est important de privilégier systématiquement les méthodes in situ non destructives afin de garantir la préservation optimale de l'édifice (**Parent (2015)**).

a. Auscultations non destructives

Ces dernières années, les techniques de contrôles non destructifs (CND) ont connu une évolution remarquable avec des prix de plus en plus abordables. Des techniques optiques (corrélation d'images numériques,...), thermiques (thermographie infrarouge) ou acoustiques (émission acoustique, ultrasons) sont utilisées dans les applications récentes CND pour le contrôle et le suivi des endommagements des matériaux (**Chaki et al., (2018)**).

b. Auscultations destructives

Habituellement, elle impliquera de réaliser des sondages destructifs pour examiner visuellement l'élément et effectuer son relevé (**Fredet et Laurent (2018)**).

I. 4.4. Méthodologie de la réhabilitation

a. Le pré diagnostic

Cette étape nécessite une première démarche globale du bâtiment, en tenant compte de ses valeurs (architecturales, historiques, etc.) et de ses problèmes (qu'ils soient de construction, d'habitabilité, etc.) lors d'une première inspection du bâtiment.

Cette première visite repose sur une inspection visuelle au cours de laquelle l'expérience de l'architecte/ingénieur joue un rôle essentiel. Il arpente l'intégralité de l'édifice en cherchant à comprendre le système de construction utilisé et les valeurs architecturales qui le définissent, les pathologies qui l'affectent, la problématique sociale qui lui est liée, etc. Plus précisément, il doit se concentrer sur les descentes de charges et sur le trajet de l'évacuation des eaux.

b. Etudes pluridisciplinaires (analyse)

Pour parvenir à une connaissance approfondie de l'objet de l'étude, il est essentiel de recueillir systématiquement des informations dans tous les domaines jugés nécessaires à l'investigation (**Casanovas (2007)**).

c. Le diagnostic (synthèse)

Pour évaluer la qualité des structures d'un édifice, il est nécessaire d'utiliser une méthode de diagnostic qui repose sur un nombre limité des sondages.

La figure I-8 recense les tests disponibles et leur utilisation pour l'analyse structurelle.

La caractérisation d'un édifice en maçonnerie passe par différentes phases:

- Enquête sur l'histoire du bâtiment.
- Description de la géométrie et des matériaux de la structure.

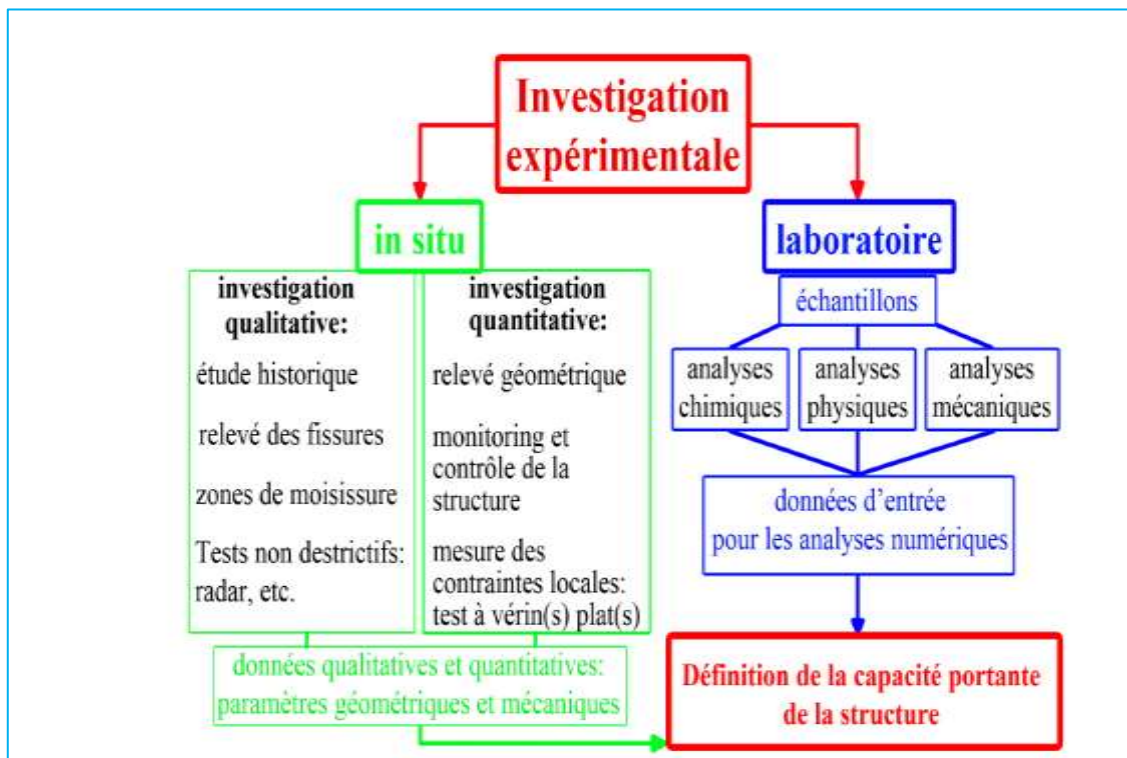


Figure I-8: Tests et procédures en vue d'un diagnostic structurel (Limoge (2016))

Les résultats de ce travail doivent guider le maître d'œuvre dans l'évaluation de la faisabilité de la réhabilitation.

I. 4.5. Technique de réhabilitation des vieux bâtis

a. Techniques des mortiers

Réhabiliter une construction implique de prendre en compte l'entretien et la restauration des vieux mortiers. La priorité principale est de maintenir l'apparence et la qualité, si possible en utilisant la technologie d'origine, afin de garantir la continuité avec le passé. Néanmoins, la disparition graduelle de certains matériaux et de l'expérience de travail pratique a occasionné quelques difficultés. Il y a de nombreux avantages à étudier les mortiers qui constituent un monument ancien, qu'ils soient utilisés pour le jointoiment, de remplissage ou la pose d'enduits tels que l'approfondissement des connaissances sur les techniques anciennes et/ou locales, élaboration de matériaux de restauration adaptés aux matériaux originels, proposition de coulis d'injection formulés en fonction des caractéristiques de la maçonnerie concernée (Martinet et Quenee (1999)).

b. Renforcement structurel (coulis et injection de mortier)

L'utilisation de coulis de mortier est fréquemment associée à des travaux de consolidation localisés afin de rendre une nouvelle cohésion avec les ouvrages anciens. Dans la mesure où cette technique permet la consolidation sans démontage et conserve ainsi toutes les déformations et l'authenticité du monument, elle est considérée comme l'un des outils de la

restauration moderne et être employées de plus en plus fréquemment (**Sous-direction des monuments historiques (2003)**).

c. Vérification du parement et de la base de la maçonnerie avant injection

Il faut vérifier que :

- Les joints entre les matériaux constitutifs de la maçonnerie soient bien étanches.
- l'étanchéité et l'adhérence de l'enduit lorsqu'il est appliqué sur les maçonneries sont convenables.
- La base du mur à injecter doit être étanche pour empêcher le coulis de s'infiltrer et de se perdre dans le sol.

Pour les maçonneries très fragilisées ou instables, il faut mettre en place des étais avant le début des travaux d'injection (**Mertz (1999)**).

I. 4.6. Choix des matériaux de réhabilitation

Les matériaux de réparation sont choisis en fonction de leur apparence, de leur résistance, de leur durabilité et de leur facilité d'utilisation, il peut être difficile de trouver un juste équilibre entre ces facteurs car ils peuvent parfois être mutuellement exclusifs (**Hoigard (2000)**).

Selon les études (**Dugué et al., (2010)**), concernant l'isolation par l'intérieur l'analyse indique qu'un isolant hygroscopique est le plus appropriée, il est recommandé de ne pas utiliser les matériaux qui entravent les échanges de vapeur d'eau. La mise en place d'un pare-vapeur classique peut être nuisible, tandis que l'utilisation d'un pare-vapeur hygro-régulant serait l'option idéale pour évacuer l'eau et restreindre les apports.

Pour le choix des matériaux pour le rejointoiment, un mortier de rejointoiment inadapté peut causer des dommages à la pierre tandis qu'un mortier adapté permet d'obtenir des résultats satisfaisants. Sur le même édifice, Les figures I-9 et I-10 illustrent les conséquences d'un choix d'un mortier inadapté ou adapté au rejointoiment.



Figure I-9: Conséquences d'un rejointoiment bâclé et avec un mortier inadapté (crédit photo D. Poineau)



Figure I-10: Utilisation d'un mortier adapté au rejointoiement (crédit photo D. Poineau)
(Le comité opérationnel de l'IDRRIM (2016))

I. 4.7. Exemple de réhabilitation (théâtre régional de la wilaya de Skikda-Algérie)

L'étude de réhabilitation du théâtre régional de la wilaya de Skikda-Algérie datant du 1932 consiste à mettre en lumière toutes les valeurs du monument, son évolution et ces problèmes et nous ont permis de constituer une banque de données nécessaire à la compréhension et définition de toute action de sauvegarde qui seront entreprises sur le théâtre aujourd'hui et demain. La dégradation qu'elle soit naturelle ou humaine est un effet menaçant l'ouvrage, le diagnostic permet l'identification de tous dommages subis par les structures, les menuiseries, les aménagements fixes et les matériaux (ruptures, fissures, dégradation, et vieillissement,..).

Les principales pathologies recensées sont la corrosion et l'humidité à cause des infiltrations des eaux d'une part et d'autre part le manque d'aération. Après visite et constat des lieux et avec une expertise globale il est à noter qu'il n'y a aucun risque d'effondrement ou autres dégradations structurelles de l'ensemble du théâtre en revanche il y a nécessité de mettre hors d'eau le monument ainsi les travaux qui sont nécessaires et indispensables. Parmi les solutions pour réussir à la conservation il faut faire un inventaire de tout le matériel ancien afin de le conserver dans un éventuel musée du théâtre de Skikda et pourquoi pas sur site même et aussi réaliser un désherbage systématique dans les différentes fissures et parties cassées pour mettre en valeur ce précieux édifice (**Boubakour et al., (2022)**).

I.5. Les éco matériaux utilisés dans la construction

I.5.1. Qu'est-ce qu'un éco matériau ?

Il est nécessaire de prendre en compte les critères de l'éco-conception pour utiliser l'éco matériau, c'est-à-dire:

- Minimiser les dommages causés à l'environnement pendant toute la durée de son cycle de vie.
- Procurer des conditions de confort aux occupants du bâtiment pendant son exploitation.

- Assurer des conditions de confort optimal pour les résidents du bâtiment pendant son exploitation.
- Il est important de ne pas nuire à la santé pendant la phase de mise en œuvre et l'utilisation du bâtiment (**Magniont (2010)**).

I.5.2. Eco-matériaux utilisés dans la réhabilitation des vieux bâtis

En raison de l'augmentation des besoins en matériaux de construction et de la nécessité de préserver l'environnement dans une vision de développement durable, il est désormais essentiel et pertinent de prospecter et d'analyser toutes les possibilités et opportunités de réutilisation et de valorisation des déchets dans le domaine du génie civil (**kherraf et al., (2019)**).

La plupart des déchets organiques qui trouvent dans la construction un moyen de valorisation, on peut ainsi citer le bois, la tige de maïs, la coque de noix de coco le bambou (**Cerezo (2005)**).

(**De Almeida (2022)**) a étudié l'accroissement de l'efficacité de la phase liante utilisée pour la fabrication de plaques préfabriquées de béton chanvre, l'objectif de ce travail est la rénovation hygrothermique de parois anciennes. Les résultats montrent que les matériaux biosourcés présentés, formulés à partir de liants bas carbone innovants, présente une solution viable et prometteuse pour améliorer la performance énergétique des bâtiments historiques et réduire l'empreinte carbone dans le secteur de la construction en phase de rénovation (construction) ou d'usage.

(**Claude (2018)**) a étudié la pertinence des mélanges chaux-chanvre pour la rénovation thermique du patrimoine bâti ancien, les résultats montrent que la forte hygroscopicité des mélanges chaux-chanvre doit être prise en compte pour identifier des stratégies de rénovation adaptée.

Dans une étude réalisée par (**Ayat (2015)**) sur des formulations d'un éco-mortier de remplacement pour la restauration du palais Meriem Azza qui est parmi les monuments historiques de la ville de Skikda. Les résultats de ce travail sont globalement positifs et prouvent la faisabilité de l'incorporation des déchets de brique dans les mortiers de restauration à base de chaux aérienne. Une amélioration remarquable est observée dans la prise de ces éco-mortiers par rapport au mortier de chaux de référence, de plus, une densification peut être envisagée afin de favoriser une meilleure perméabilité à l'eau et à l'oxygène.

I.5.3. Valorisation des déchets dans les éco-matériaux

a. Carrelage

Les déchets de carrelage issus lors de la fabrication du produit ne sont utilisés à aucune fin, ils sont stockés en permanence dans les décharges et les Oueds.

L'objectif de la recherche est d'étudier la possibilité d'élaborer un béton contenant ce déchet comme sable pour la réparation du dallage dégradé, dans l'optique d'une utilisation en tant que ressource alternative au sable concassé surexploité et la préservation de l'environnement.

Le programme expérimental consiste à introduire le sable de déchets de carrelage dans la formulation de béton courant avec des pourcentages variables :0, 5, 10 et 15% et étudier l'évolution des propriétés des bétons ainsi élaborés aussi bien à l'état frais (masse volumique, affaissement) qu'à l'état durci (résistance à la compression, résistance en traction par flexion et fendage et l'absorption par capillarité). Les résultats obtenus ont montré que l'introduction jusqu'à 10% de sable de déchets de carrelage contribue à améliorer la résistance à la compression et à la flexion du béton témoin et l'utilisation de 5% de sable recyclé impacte positivement la résistance à la traction par fendage (**Boubakour et al., (2022)**).

b. Le liège

Le chêne liège est une espèce forestière principale en Algérie, tant en raison des superficies occupées, que de son importance économique. Il est présent sur 450 000 ha, mais ne constitue de véritables subéraies que sur 150 000 ha (**Bouhraoua (2003)**). La production de liège à l'Algérie a atteint 56.489 quintaux au terme de la campagne 2019-2020. La production moyenne du pays en liège se situe autour de 60.000 quintaux par an, le pays avait dépassé ce seuil en 2018 avec 89.309 quintaux récoltés (**Production de liège (2021)**).

La wilaya de Skikda a réalisé au titre de la saison 2021-2022 une production de 5.900 quintaux de liège à travers les forêts des communes de Collo, Tamalous et El Hadaïk (**Skikda :5.900 qx de liège (2022)**).

De nombreux articles publiés dans des revues scientifiques ont montré l'introduction du liège dans les matériaux de construction. L'élaboration des mortiers et bétons a fait l'objet de plusieurs études, le remplacement du sable par le liège réduit la densité du mortier, résistance à la compression et conductivité thermique (**Barnat-Hunek et al., (2018)**, **Demertzi et al., (2015)**, **Barnat-Hunek et al ., (2017)**).

(**Karade et al., (2006)**) ont montré que l'hydratation du ciment est moindre affectée par l'incorporation des particules de liège supérieure de 2 à 3 mm, par contre la résistance à la compression des mélanges ciment-liège diminue.

Des recherches ont été menées par (**Moreira et al., (2014)**) pour élaborer un mortier léger pour le revêtement des dalles en béton à l'aide de déchets et granulats de liège mélangé avec le ciment. Les résultats expérimentaux ont montré que le remplacement du sable par les particules de liège influe sur les propriétés mécaniques et thermiques et réduisent la densité, le durcissement, résistance à la compression et conductivité thermique. Due à leur faible résistance à la compression, ces mortiers ne conviennent pas pour être utilisés comme chapes de revêtement.

(**Ziregue et al., (2018)**) ont étudié l'effet de taille des granulats de liège sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton léger à base de sable calcaire. A cet effet trois tailles de granulats de liège sont utilisées. Il s'agit des classes granulaires 0/3, 3/8 et 8/15mm. Les résultats obtenus révèlent l'intérêt remarquable du liège sur l'allègement des bétons, ainsi que l'amélioration des performances thermiques, par contre une chute des résistances mécaniques en fonction du dosage en granulats légers pour les trois classes granulaires. La conductivité thermique évolue en sens inverse de la taille des granulats, il en est de même pour les caractéristiques mécaniques.

c. Grignons d'olives

Le territoire oléicole Algérien compte environ 500 000 ha produisant en moyenne 800 000 hectolitres d'huile chaque année. Les déchets des grignons et fongés des margines sont toxiques pour l'environnement. Il est intéressant de noter que pour 1 tonne d'huile récupérée, environ 3 tonnes de déchets sont produites (**Balla (2022)**).

Les recherches réalisées par (**AL-Masaeid et al., (1994)**) et (**Siracusa et al., (2001)**) mettent en évidence l'application des grignons d'olives dans la construction pour l'amélioration apportée à la durabilité, à la résistance au décapage, à l'eau, congélation et comme additif pour les résines. Selon (**Arezki et al., (2016)**) l'influence de l'ajout de la poudre du grignon d'olives sur l'augmentation significative de la porosité et diminution du coefficient d'absorption d'eau dans les briques en terre cuite.

(**Barreca et Fichera (2013)**) utilisent des grignons d'olives comme un adjuvant afin d'améliorer l'isolation, de réduire la densité et augmenter de l'absorption d'eau des mortiers à la base du ciment-chaux, un plan expérimental a été développé par (**Del Río Merino et al., (2017)**) pour évaluer la viabilité de la substitution, les résultats des tests expérimentaux montrent que la substitution d'argile par déchets des grignons d'olives permettant d'obtenir des mortiers avec une densité inférieure jusqu'à 30% et une augmentation de la résistance à la compression jusqu'à 20%.

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé une banque de données sur:

- Le vieux bâti de la ville de Skikda.
- Les causes de dégradation des matériaux de construction et l'aspect de durabilité.
- Différents types des pathologies affectant les bâtiments.
- Les techniques de diagnostic et réhabilitation des vieux bâtis.
- Quelques travaux antérieurs sur l'utilisation des éco-matériaux dans la réhabilitation des vieux bâtis.
- Une notion sur les déchets et en particulier les déchets issus de liège et grignons d'olives, l'objet de cette étude et la valorisation de ces déchets dans les matériaux de construction.

CHAPITRE II

**Cas d'étude: réhabilitation d'un
immeuble vieux Bâtis situe sur le
boulevard Didouche Mourad (les
arcades Skikda- Algérie)**

II. Cas d'étude: Réhabilitation d'un immeuble vieux bâtis situé sur le boulevard Didouche Mourad (les arcades Skikda- Algérie)

II.1. Introduction

Ces dernières années, de nombreuses études ont été effectuées dans les anciens quartiers de la ville de Skikda; elles ont conduit à la création de secteurs sauvegardés, à la protection du centre-ville et à la réhabilitation du patrimoine bâti qui est devenu un secteur clé de la construction (**Bouanane (2008)**).

Etudier de manière systématique, la nature de l'ampleur et l'origine des désordres est essentielle pour établir le diagnostic de faisabilité technique et financière du projet de réhabilitation. Lors de cette démarche, on vérifie la stabilité générale de l'édifice, celle de chacun de l'ensemble de sa structure, l'état de conservation des ouvrages secondaires, et aussi la localisation de l'humidité et son impact direct (**Coignet et Coignet (2012)**).

Dans ce chapitre notre travail sera axé, principalement, sur la réhabilitation de la superstructure du bâtiment n°10 avenue Youcef Kadid bloc 4 de l'îlot 14 sis la rue Didouche Mourad (les arcades), faisant partie du patrimoine de la ville de Skikda - Algérie et datant de la période coloniale.

L'objectif principal de ce chapitre sera de détecter en premier lieu les pathologies principales de l'immeuble afin d'explorer son état de conservation, de fonctionnement et d'occupation, les causes de sa dégradation et la préconisation de recommandations techniques nécessaires pour la prise en charge de ces dégradations en vue d'une remise en état et ensuite, proposer un nouveau mortier pour remplacer le mortier de jointement dégradé de façon à assurer la durabilité et la compatibilité avec le support ancien d'une manière saine pour mettre en valeur ce patrimoine.

II.2. Cas d'étude

II.2.1. Situation et information du projet global

La rue Didouche Mourad (les arcades) à Skikda en Algérie située à la proximité de la mer, cette rue principale, axe commercial de Skikda de 820 mètres de longueur, relie la place du 1er novembre, au nord, en regardant au port, au sud, la porte de Constantine. La rue Didouche Mourad se situe au point le plus bas entre deux collines, c'est une rue à double pente.

Les 24 îlots de la rue occupent une surface d'environ 28.30 m², distribuées par îlots. La rue se caractérise principalement par les arcades présentes dans la plupart des bâtiments, si bien qu'elles ne sont pas originales dans tous les bâtiments.

La situation désastreuse des 127 bâtisses de la rue Didouche Mourad, qui compte 604 logements et 350 locaux commerciaux, est la conséquence d'infiltrations d'eau aggravées par la topographie de la ville. Celle-ci est adressée sur une cuvette assortie de pentes favorisant la convergence des eaux vers la rue Didouche Mourad, entraînant l'érosion et la dégradation avancée des habitations, en plus de l'absence d'entretien et l'obstruction des canalisations d'eaux usées.

Pour restaurer son image d'antan et améliorer sa fonctionnalité, des travaux de réhabilitation vont être entrepris.

Une première enquête engagée en collaboration entre (l'OPGI Skikda et CTC/CDE Annaba (2023)) a permis la classification des immeubles par niveau de dégradation ainsi que les différences phase d'intervention (annexe 1).

Donc l'opération de réhabilitation du patrimoine historique et culturel de cette ville ancienne reste, la solution la plus appropriée pour préserver ces habitations qui contribuera à sauver des vies humaines menacées par les risques d'écoulement des demeures aux murs lézardés, aux toits et escaliers menaçant la ruine. Plusieurs contraintes font face à cette intervention à savoir, la nature complexe de ce site caractérisé par des habitations en bloc cimentés, collées les unes aux autres. Dans ce contexte il est souligné que cette situation rendrait difficile toute opération de démolition dans la vieille ville, à cause des risques encourus d'effondrement de la chaîne.

II.2.2. Genèse historique

La place du patrimoine dans les études scientifiques est sans cesse grandissante. Le concept de patrimoine évolue et se transforme grandement depuis plusieurs années. Actuellement la plus importante artère urbaine du centre historique de la ville de Skikda est la rue Didouche Mourad (les arcades), c'est une rue projetée l'année 1839, peu après la décision du gouvernement français a été prise pour la construire, dans le même territoire occupé par l'ancienne ville romaine de Stora, la ville de Philippeville (Skikda).

Les bâtiments ont été soumis à des interventions, des aménagements, des extensions et des aménagements de divers types tout le long du siècle. C'est la raison pour laquelle certains édifices ont une architecture qui diffère de l'architecture du projet.

En d'autres termes, nous pourrions nous retrouver avec un bâtiment qui est construit en 1840 mais qui présente des actuations datant de 1860, 1870 et 1930, ce cas est un exemple qui se reproduit dans plus de la moitié des constructions.

II.2.3. Présentation du projet particulier

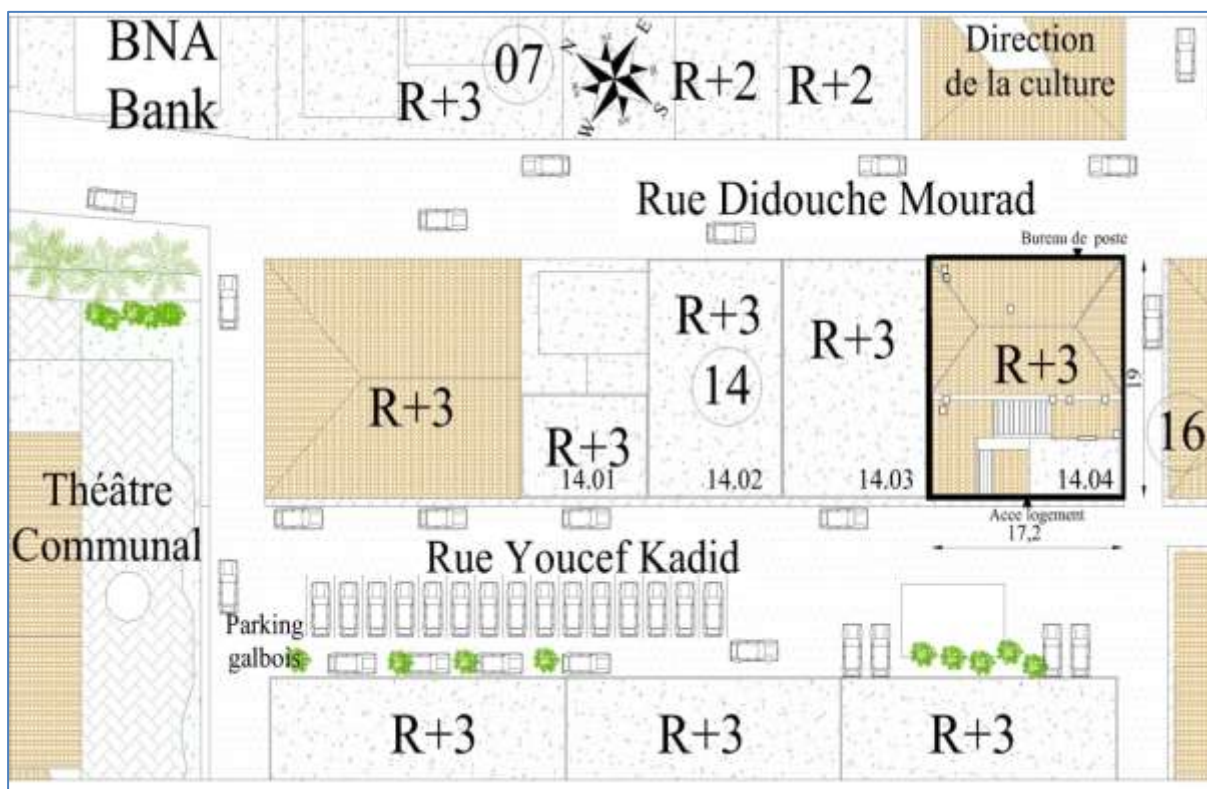
II.2.3.1. Situation du projet

Le présent projet de réhabilitation du bâtiment numéro 04 situé dans l'îlot 14.

L'accès principal du bâtiment se situe à la rue Youcef Kadid, alors que les locaux et les activités présentes ont aussi des façades donnant sur les rues, Didouche Mourad et Boudjemâa Lebaridi, étant la rue Didouche Mourad la principale. Jointif au droit de sa face latérale gauche par rapport à l'entrée à un bâtiment du côté nord en rez de chaussé plus un (01) étage, figure II-1 (a et b).



a- Plan de situation



b- Plan de masse

Figure II-1: Bâtiment n° 04 de l'îlot 14

II.2.3.2. Style architectural de la façade

La façade principale nous indique que la construction correspond à l'étape qui va de l'année 1870 jusqu'à 1890, (figure II-2). L'occupation du bâtiment est de $303.5m^2$.

La façade principale, latérale sud et postérieure suivent un schéma classique avec soubassement, corps et couronnement.



Figure II-2: Façade

II.2.3.3. Composition du bâtiment et usage

Le bâtiment se compose de 3 étages, plus une petite cave ou sous-sol, une mezzanine sur un local du rez-de-chaussée, et une petite construction sur la terrasse, implanté sur un terrain à pente moyenne au milieu d'un tissu urbain.

Au niveau du sous-sol se trouve une cave inaccessible car l'issue est bloquée par un réservoir d'eau, installé à l'endroit où se trouvent les escaliers de descente à la cave.

L'utilisation principale du bâtiment est résidentielle excepté le rez de chaussée, et les mezzanines qui sont d'utilité commerciale

II.2.3.4. Description du système structurel

La structure verticale du bâtiment se compose de murs porteurs en pierre au niveau du sous-sol, du rez de chaussée, des mezzanines et du premier étage, et en brique au reste d'étages.

Les planchers sont construits de profilés métalliques d'ailes étroites et voutes en briques creuses. La terrasse est composée de deux parties, la première est de type inclinée à une nef composée d'une charpente en bois revêtues de tuiles. La seconde partie est une terrasse plate, accessible et revêtue d'une chape en béton. Des escaliers en bois desservent les étages courants ainsi que la terrasse.

II. 2.4. Analyse et diagnostic du bâtiment objet d'étude

Pendant sa durée de vie, une construction est soumise à des agressions diverses qui peuvent venir, soit de l'extérieur sous forme de facteur climatique ou environnemental, soit de l'intérieur sous forme de pathologie liée à une composition ou une mise en œuvre inadéquate.

Les inspections se réalisent avec l'objectif de localiser tous les types de désordres, symptômes, déformations, fissures, dégâts, présence d'humidité, etc. c'est à dire que de forme générale on essaye de détecter toutes les lésions et anomalies existantes.

De manière générale, on détermine les systèmes constructifs, les matériaux utilisés, le niveau des finitions, l'état apparent, les désordres, etc.

II .2.4.1 Méthode de diagnostic

a. Visite préliminaire

La visite préliminaire a pour but d'élargir la compréhension de l'état et le fonctionnement de la structure, décrire en détail les conditions environnementales, les signes évidents de détérioration, les dégradations visibles, l'accessibilité des parties endommagées.

Cette inspection aboutit à un pré-diagnostic et à un programme d'investigations, elle inclut selon (**AFGC et CEFRACOR (2003)**) la collecte des informations nécessaires à l'établissement du diagnostic sanitaire complet de l'édifice, ceci englobe, entre autres, les informations découlant des études documentaires, historiques sont souvent d'une grande valeur pour une bonne compréhension du bâtiment et des transformations qu'il a subis tout au long de son histoire. Les données recueillis sur les pathologies qui impactent le bâtiment sont représentées graphiquement sur le relevé géométrique (**Raftani et Hassouni (2018)**).

b. Inspection détaillée

L'inspection visuelle de la superstructure est mise en œuvre afin de détecter tous les signes de détérioration, et d'identifier toutes les sources potentielles de désordres.

On procède à une inspection visuelle de la superstructure pour repérer tous les signes de détérioration, et d'identifier toutes les sources potentielles de désordres.

La portée de notre intervention se limite aux parties accessibles de bâtiment .Les visites commencent par une inspection visuelle qui se centre premièrement sur les parties extérieures, ensuite les zones communes et finalement l'intérieur des logements. L'inspection ne porte que sur les éléments visibles de la superstructure et ne préjuge aucunement les éléments d'infrastructures, ou autre partie non visibles. Toute l'information verbale apportée par les occupants est aussi relevée.

Elle comprend les deux phases suivantes:

- Préparation de l'inspection

La première étape consiste à vérifier et à finaliser les informations collectées lors de la visite préliminaire, de rechercher des documents de synthèses déjà élaborés, tels que les rapports d'expertise antérieurs, etc.

Il est prévu de recenser et de définir les moyens d'accès à l'avance, et toutes les mesures de sécurité.

- Inspection proprement dite

L'inspection proprement dite inclut le relevé, éventuellement sur plans, de tous les désordres visibles, et de toutes les informations utiles concernant l'aspect du parement:

- La présence d'anciens revêtements, ou des produits d'imprégnation,
- La présence de fissures, (ouverture, réseau),
- Les armatures apparentes et les épaufrures,
- La déformation de la structure,
- La détection de zones sonnante creuse,
- Les traces d'humidité (AFGC et CEFACOR (2003)).

II.2.5. Différents types de pathologies affectant le bâtiment

II.2.5.1. Pathologies mécaniques

a. Structure de la couverture

-Le couvre patio: les carreaux brisés à plusieurs endroits, les grilles métalliques de protection des vitres se trouvent aussi très dégradées. Les éléments en charpente en bois, qui constituent la structure porteuse de la toiture inclinée à 2 versants, présentent un état de dégradation caractérisé par:

-Le fléchissement visuel de quelques pannes et chevrons, avec la présence sur certains éléments de fissures longitudinales.

- La détérioration et la ruine de certaines tuiles avec détachement de quelques-unes ce qui permet des infiltrations d'eau à l'intérieur,
- Une réparation anarchique, consistent en la pose de pax alumine au droit d'une partie de la toiture du dernier niveau.

b. Structure verticale

On trouve des fissures horizontales aux murs du patio au niveau du plancher du deuxième étage et au niveau des extrémités des fermes de la toiture, ces fissures semblent causées par la poussée des fermes.

Il existe une fissure verticale à la partie supérieure d'un des murs perpendiculaires à la façade principale au troisième étage (figure II-3), la différence de charge au point où la poutrelle en bois du faux plafond s'appuie et/ou le flambement horizontal de celui-ci pourrait être la cause.

Au niveau du rez de chaussée où le jambage de la porte postérieure d'un local coïncide avec le mur perpendiculaire à la façade postérieure qui sépare la cage d'escalier et ce local existe une fissure inclinée dû à la différence de charge sur le même point provoqué par l'appui du linteau de l'ouverture.



Figure II-3: Fissure verticale au mur du 3ème étage

On distingue des fissures verticales sur le jambage du mur porteur parallèle à la façade postérieure dans un local (figure II-4), ces fissures présentent une importante séparation de lèvres qui pourrait indiquer qu'il y a une excessive tension de compression sur l'élément, mais qui semble une question locale, sûrement due à la simultanéité de plusieurs altérations sur ce même point (tension, déformation, humidité, etc.).

On constate l'existence de fissures et petites pertes de matériau du mur aux jambages des ouvertures dans plusieurs façades et étages causés par le gonflement des charnières de fer intégrés au mur et qui ont de la corrosion (figure II-5).



Figure II-4: Fissure verticale au mur

Figure II-5: Fissures et petites pertes
de matériau aux jambages

c. Escaliers

Les escaliers en bois, menant au compte présentent un état de dégradation très avancé (figure II-6 et II-7), caractérisé par:

- Une déformation excessive du palier d'arrivée des étages courants jusqu'à la terrasse,
- Ectayement des paliers et des volées qui peut causer de leurs ruines imminentes suite à leur état avancé de dégradation.
- Le faux plafond des volées et des paliers, est tombé à différentes zones, présentant des grands trous (figure II-8).
- Un état de fatigue des marches du au vieillissement du matériau, à la détérioration des appuis et à l'usure qui résulte de leur exploitation durant plusieurs années et le manque de l'entretien périodique.



Figure II-6: Escalier du RDC au premier étage



Figure II-7: Détail de l'état auquel se trouve jonction du montant d'escalier du bloc 14.04 avec le palier de l'escalier du premier étage



Figure II-8: Faux plafond tombés

d. Façade

Dans la façade postérieure les ouvertures ont perdu pratiquement la totalité des menuiseries des fenêtres et des persiennes ou bien elles sont très endommagées.

II.2.5.2. Pathologies physiques

a. Structure verticale

On remarque la présence d'humidités qui monte par capillarité au mur du rez de chaussée de la façade latérale sud au local (figure II-9).



Figure II-9: Humidité de capillarité au mur de la façade latérale sud

On ne peut pas vérifier la présence d'humidité au sous-sol parce que l'accès à la cave est bloqué par un réservoir d'eau.

b. Structure horizontale

Les poutrelles du plancher du 1er étage qui correspond au patio présente des symptômes de condensation en raison de manque d'isolation de la couverture et de l'accumulation d'humidité provoquée par l'importante présence de déchets sur le patio (figure II-10).



Figure II-10: Taches de condensation sous les poutrelles métalliques

c. Escalier

On observe les champignons du bois qui sont développés à cause de l'humidité accrue.

d. Façade

À la façade postérieure un arbrisseau de taille respectable a pris racine au niveau de la corniche, la gouttière s'est décrochée et déplacée et laisse couler l'eau de pluie le long de la façade, créant une tache noirâtre. La détérioration et l'altération des peintures des façades par endroits est visible surtout sous le plancher haut de la mezzanine du côté du boulevard (arcades).

e. Réseaux et équipements

Les gouttières qui parcourent le périmètre de la toiture sont abimées et permettent à l'eau de couler arbitrairement par la façade. Les décentes métalliques qui se trouvent dans les façades et dans le patio souffrent des dégradations à plusieurs niveaux avec la perte de matériau, qui correspondent à des points de fuites provoquant des taches noires. Au niveau des différents étages, on trouve des tuyaux de raccordement d'appareils sanitaires endommagés engendrant des fuites à différents niveaux (figure II-11). Les descentes des eaux résiduelles n'ont pas d'évents de ventilation.



Figure II-11: Descente endommagée à la façade postérieure.

II.2.5.3. Pathologies chimiques

a. Structure de la couverture

Des traces de dégradations sur les parties visibles des éléments en bois, caractérisées par des signes d'attaque fongique (colorisation, putréfaction d'éléments). Les profilés métalliques de support présentent de la corrosion.

b. Structure horizontale

Les planchers souffrent d'importants niveaux de corrosion, majoritairement dus aux infiltrations d'eau qui s'écoulent de la terrasse du 3ème étage aussi dus à l'eau du nettoyage pour le reste d'étages (figure II-12). La surface inférieure des balcons présente des fissures et

des décollements de l'enduit, qui coïncide avec les zones où les poutrelles métalliques sont corrodées.



Figure II-12: Corrosion des poutrelles métalliques

c. Escaliers

Concernant les paliers, on constate que la poutre métallique à aile étroite qui soutient la voûte céramique, montre la présence de corrosion (figure II-13).



Figure II-13: Poutre corrodée du palier

II.2.5.4. Pathologies anthropiques

Concernant le chauffage, les logements n'ont pas un système centralisé. La majorité des logements ont un chauffage individuel type poêle à gaz, pour lesquels une évacuation de fumée adéquate est généralement inexistante, les tuyaux de sortie passent dans la plupart des cas par le patio sans un diamètre et un matériau unifié.

La majorité des logements ont des climatiseurs individuels, installés à l'endroit le plus facile pour chacun des habitants, généralement accrochés aux façades, en désordre et sans aucune

prévision (figure II-14) de connexions et d'évacuation de l'eau de condensation des appareils.



Figure II-14: Climatiseurs et antennes qui altèrent l'image du bâtiment



Figure II-15: Constructions ajoutées au niveau de la terrasse

Les constructions ajoutées en plus au niveau de la terrasse constituent la principale altération qui affecte aux façades postérieure et latérale (figure II-15). Les unités extérieures des climatiseurs et les antennes paraboliques nuisent à l'aspect visuel et modifient l'image extérieure des façades donnant sur la rue.

Au niveau du rez de chaussée on trouve deux altérations importantes:

- La modification des ouvertures donnant sur les arcades et les revêtements en pierre naturelle ajoutés à la façade des arcades latérales, et en faïence à la façade postérieure et latérale.
- Sur les différentes façades, on trouve des éléments encastrés obsolètes spécialement sur la façade principale, correspondant à des anciens supports de panneaux publicitaires.

II.2.6 .Les causes principales des pathologies qui affectent ce bâtiment

Les désordres constatés affectant l'ensemble du bâtiment correspondent aux infiltrations d'eaux et aussi la présence d'excréments de pigeons qui facilitent les pourritures aux éléments en bois.

De forme spécifique, dans ce bâtiment, avec ces planchers faits de poutrelles métalliques, il faut considérer que la corrosion de ces éléments, n'est pas essentielle de forme individuelle, mais elle devient une problématique importante sur un symptôme répétitif.

II.2.7. Représentation graphiques de l'état des lieux

Le bâtiment en question présentait des désordres sérieux. Dans ce contexte, notre mission avait pour objectif d'établir un état des lieux des différents plans de bâtiment, présentés en détail en (Annexe 2 jusqu'à 12).

II.2.8.Les conséquences graves sur le bâtiment

- Salissures sur les façades et des toitures.
- Obstruction des gouttières, des cheminées et conduites de ventilation et/ou d'aération.
- Envahissement des immeubles, locaux inoccupés ou greniers par les rongeurs et toutes sortes d'insectes.
- Détachement des couches de peinture et fissuration des murs, et des dépôts de poussières et de dioxyde par endroit.
- Dislocation du mortier de jointement.
- Les éléments qui ont une fonction de composition et/ou d'ornement, comme la corniche, les bandeaux, les consoles et les encadrements présentent des petites pertes de revêtement laissant à nu certaines parties qui sont effritées, et qui présentent divers trous.
- La balustrade céramique qui joue le rôle de garde-corps de la terrasse du troisième étage indique que 80% de ces éléments sont fissurés ou brisés, en grand part causé par la corrosion des barres métalliques intérieures.
- La plupart des fenêtres ne ferment pas correctement en permettant l'infiltration d'air et en occasions d'eau engendrant la dégradation de la peinture.
- La moitié des persiennes ont les charnières corrodées et la peinture dégradée.

II.2.9. Intervention pour la conservation

Vu que l'origine des désordres se cadre autour des infiltrations d'eaux, la réhabilitation, devrait cibler ce problème.

Comme critère général, les systèmes de ventilation existants devront être entretenus dans la mesure du possible. Dans un autre cas, les substituer par des nouveaux éléments. Aussi, entretenir les cheminées existantes, en les restaurant uniquement dans son tronçon final, pour le passage à la toiture. Les cloches d'extraction des cuisines restent sans modification, mais on devrait leur prévoir des sorties directes à la toiture ou sur un patio de ventilation intérieure. Dans le cas où la cuisine ne dispose pas de cloche d'extraction, on procèdera à la réalisation d'une installation correspondante.

Il existe une multitude de méthodes de réparation en fonction de la nature de la réparation, et de l'élément à réparer, nous allons ci-après citer les solutions techniques que nous estimons les plus adaptées à chaque partie de la bâtisse.

II.2.9.1. Structure porteuse verticale

Vu qu'aucun signe de déficience ni quelconque anomalie n'a pu être relevée il n'est pas nécessaire d'engager une intervention sur cette partie.

II.2.9.2. Planchers

-Les éléments en bois légèrement dégradés sans perte de matière, feront l'objet d'un traitement et/ou d'un renforcement en vue de restituer sa capacité et sa résistance initial.

-Procéder au remplacement des éléments en bois fortement dégradés, tout en respectant les mesures de sécurité lors d'exécution des travaux .Un système d'étayement est obligatoire afin d'éviter tout risque lié à un éventuel effondrement lors des travaux.

II.2.9.3. Toiture et terrasse

Il y a lieu de procéder au remplacement des parties de la charpente en bois endommagées ou altérées qui supportent la couverture.

Il est impératif de remplacer les parties de la charpente en bois endommagées ou altérées qui soutiennent la couverture.

Une grande vigilance est requise quant aux zones d'appui, qui devront respecter rigoureusement les dispositions constructives de rigueur pour ce type de dispositif, aux croisements des pannes aux pignons.

La charpente en bois doit garantir une étanchéité suffisante pour prévenir toute infiltration d'eau et détérioration des plafonds de l'étage inférieur surtout de troisième étage et de l'étage toiture vu qu'ils sont recouverts par cette ossature.

II.2.9.4. Enduit en ciment

Il y a lieu de reprendre les enduits dégradés, voir même les zones présentant des fissurations.

II.2.9.5. Escalier

Vu l'état de dégradations des escaliers, il est préférable de procéder à leur reprise intégrale c'est-à-dire la démolition puis la reconstitution par des escaliers métalliques de préférence, en portant une attention particulière aux zones d'appui qui doivent être conçus et réalisées en veillant à ne pas nuire à la pérennité de l'existant.

II.2.9.6. Eléments secondaires

Pour les fissures horizontales et verticales affectant les cloisons de distribution au niveau de la cage d'escalier et des logements, le traitement peut être le suivant:

-Simplement rebouchées avec un mortier approprié pour les fissures superficielles et peu profondes.

-Les enduits en plâtre et peinture des parties dégradées devront être refaits.

-Les revêtements de sol (carrelage) des parties défectueuses devront être repris en assurant leur étanchéité pour éviter toutes les infiltrations des eaux possibles sur les étages inférieurs.

II.2.9.7. Les réseaux d'assainissement

Il est très important de revoir le réseau d'évacuation des eaux pluviales et usées et les raccordés au réseau d'assainissement principal, les réseaux doivent être suffisamment étanches et ne présentent aucune discontinuité, notamment à l'endroit des emboitements des conduites et l'ensemble des appareillages sanitaires et cela afin d'éviter toute infiltration des eaux futures pouvant affecter les planchers, les faux plafonds ainsi que la peinture.

Vu que les travaux de réhabilitation des planchers et la réparation de la toiture affecteront impérativement le dispositif de collecte des eaux pluviales, sa remise en état ainsi que son raccordement aux réseaux extérieurs sont alors tributaires de l'achèvement des travaux.

II.3. Conclusion

La réhabilitation de cet ancien bâtiment renferme des valeurs patrimoniales historiques remarquables et notre but principal c'est la création d'un environnement intérieur confortable et sain en assurant la protection contre le bruit et l'isolation thermique, l'hygiène, la bonne santé et sécurité.

Le principe facteur qui influe et provoque la détérioration de l'ensemble de l'ouvrage est l'humidité sous plusieurs formes suit son origine. Il faut ralentir le phénomène de la corrosion des pièces métalliques et maîtriser l'effet de l'eau dans le bâtiment parce que c'est la source des problèmes tout en assurant un bon système de drainage.

Dans notre cas nous proposons un mortier à base de déchets de sable issus de liège ou grignons d'olives, pour la réparation de cet édifice spécial, la caractérisation de ce mortier sera étudié dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III

Caractérisation des matériaux, programme expérimental et méthodologie d'essais

III. Caractérisation des matériaux, programme expérimental et méthodologie d'essai

III.1. Introduction

Les performances du mortier dépendent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de ses éléments constitutifs. Ces derniers doivent être caractérisés au préalable selon les normes en vigueur.

Dans ce chapitre nous exposons la caractérisation des matériaux et le programme utilisé dans l'étude de la substitution des granulats ordinaires (sable de carrière) par les déchets issus de liège ou des grignons d'olives, les paramètres, les essais, les méthodes de formulation et la fabrication des mélanges.

Les essais de caractérisation ont été réalisés au sein des laboratoires:

- Laboratoire de matériaux de construction université 20 août 1955 Skikda.
- Laboratoire de l'habitat et la construction - Skikda.

III.2. Caractérisation des matériaux

Les matériaux utilisés dans cette étude sont:

- Ciment CPJ-CEM II 42.5 (S-L) provenant de la cimenterie de Hdjar soud- Skikda (Algérie).
- Un sable de carrière de classe 0/4 d'origine la carrière de Ben Brahime- Constantine.
- Un sable de liège de classe 0/4 obtenue par concassage et tamisage des chutes de liège.
- Un sable de grignons d'olives de classe 0/4 obtenu par concassage et tamisage des déchets générés par les stations de production d'huile d'olive.
- L'eau de gâchage du robinet.

III.2.1. Ciment

Le ciment utilisé est un CPJ-CEM II 42.5 (S-L) est un produit de L'usine de Hadjar Soud (Skikda- Algérie).

Les essais effectués sur les constituants sont :

-La densité est de 3.100 g/cm^3 , déterminée à l'aide du densimètre de le Chatelier, en utilisant l'acétone (figure III-1).



Figure III-1: Mesure de la densité.

-La surface spécifique de Blaine du ciment est de $3350 \text{ cm}^2/\text{g}$ a été déterminée conformément à la norme EN 196-1, par la méthode de perméabilité à l'air (figure III-2). On observe le temps mis par une quantité fixée d'air pour traverser un lit de ciment ou des fillers compactes dans la cellule du perméabilimètre de Blaine.



Figure III-2: Mesure de la surface spécifique de Blaine

-Le temps de début de prise est 3heurs 4minute ainsi que le temps de fin de prise est de 5heurs (figure III-3) mesuré par l'appareille de Vicat conforme à la norme (EN 196-3).



Figure III-3: Appareil de Vicat

-Les propriétés mécaniques obtenues sur mortier normal sont données par le (tableau III-1).

Tableau III-1: Propriétés mécaniques du CPJ-CEM II 42.5			
	2jours	7jours	28jours
Résistance en traction par flexion en MPa	3.50	6.08	7.61
Résistance en compression en MPa	35.30	46.45	55.15

-L'analyse chimique (EN 197-1) a été faite par diffraction par rayon «X» et par la méthode classique. Les caractéristiques chimiques et minéralogiques sont présentées dans le tableau III-2, la teneur des phases anhydres du ciment est calculée à partir de l'analyse du ciment en appliquant la méthode de bogue.

Composants	Résultats (%)
CaO	66.46
AL ₂ O ₃	5.40
Fe ₂ O ₃	3.92
SiO ₂	21.63
MgO	1.29
Na ₂ O	0.21
Cl	0.01
C3S	62.18
C2S	15.13
C3A	7.68
C4AF	11.23

III.2.2. Sable

Trois types de sable ont été utilisés, sable carrière de type concassé, sable de liège et sable de déchets de grignons d'olives (figure III-4).



a- Sable de carrières

b- Sable de liège

c- Sable de grignons d'olives

Figure III-4: Types de sable

a. Sable ordinaire

Le sable utilisé est un sable calcaire concassé (SC) de classe 0/4, provenant de la carrière de Ben Brahime- Constantine, dont les propriétés sont présentées dans le tableau III -3.

Tableau III-3 : Propriétés du sable ordinaire	
Caractéristiques	Resultants
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.370
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.670
Equivalent de sable	70
Valeur du bleu de méthylène	0.75
Coefficient d'absorption (%)	4.65

b. Sable de liège

Le sable de liège (SL) est de classe 0/4 obtenue par concassage et tamisage des chutes de liège, ces propriétés sont présentées dans le tableau III -4.

Tableau III-4: Propriétés du sable de liège	
Caractéristiques	Resultats
Masse volumique apparente (g/cm^3)	0.116
Masse volumique absolue (g/cm^3)	0.440
Coefficient d'absorption (%)	60

c. Sable de grignons d'olives

Le sable de grignons d'olive (SG) est de classe 0/4 obtenue par lavage, séchage, concassage et tamisage des déchets générés par les stations de production d'huile d'olive. Les propriétés de ce sable sont présentées dans le tableau III-5.

Tableau III-5: Propriétés du sable de grignons d'olives	
Caractéristiques	Resultats
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.123
Masse volumique absolue (g/cm^3)	1.39
Masse volumique apparente (g/cm^3)	16.81

Sur la figure III-5 on présente les courbes granulométriques des trois types des sables.

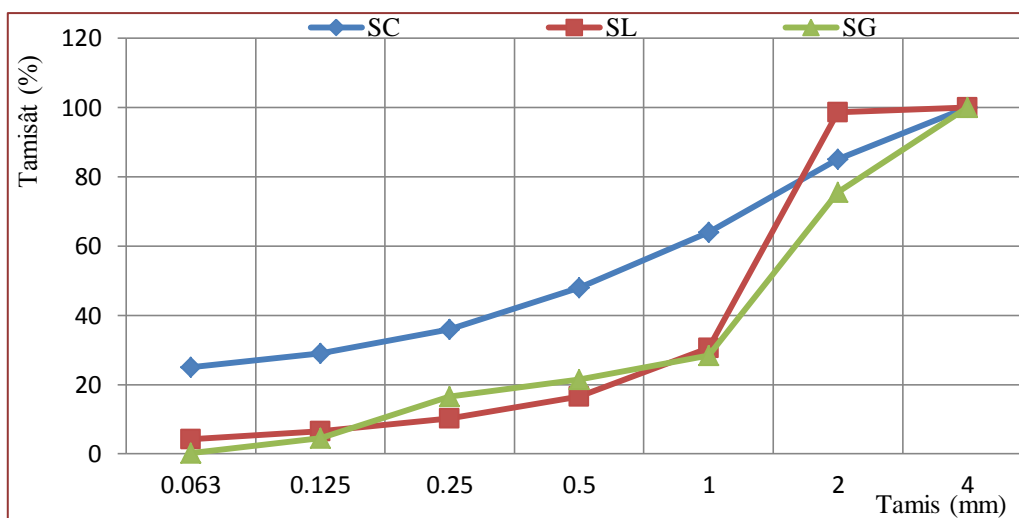


Figure III-5: Courbes granulométriques des trois types des sables

Les résultats des essais de caractérisations ont montré que:

- La masse volumique absolue du sable ordinaire est supérieure à celui du sable de grignons d'olives et de liège respectivement.
- Le sable de liège absorbe plus d'eau que le sable de grignons d'olives et ordinaire respectivement.
- Le sable ordinaire présente une bonne répartition granulométrique par rapport aux autres sables.
- Le sable ordinaire est plus fin ($M_f=2.38$) que le sable de liège ($M_f=3.38$) et de grignons d'olives ($M_f=3.58$). Le remplacement partiel du sable ordinaire par les sables recyclé peut influencer la maniabilité du mortier.
- La plus faible teneur en fine est donnée par le sable de grignons d'olives en comparaison avec le sable de liège et ordinaire respectivement.

III.2.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage est l'eau du robinet du laboratoire de génie civil, ces propriétés chimiques qui sont données par le tableau III-6 répondent à toutes les prescriptions de la norme EN 1008.

Tableau III-6: Analyse chimique de l'eau						
Cl mg/l	PH	T°	Salinité	TDS mg/l	Conductivité Us/cm	Observation
0,1	7,3	28	0,2	297	541	-Turbidité : 1,44ntu -Eau de bonne qualité chimique

III.3. Programme expérimental et méthodes d'essais

III.3.1. Programme expérimental

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du taux de substitution d'une partie de sable ordinaire par des sables de déchets issus de liège ou des grignons d'olives, en faisant varier les taux de substitution (0, 5, 10, 15, 20, 25 et 30 %) sur les caractéristiques de mortier à l'état frais et durci.

Pour réaliser ce travail nous avons travaillé sur deux axes:

-Dans le premier axe nous avons substitué un sable ordinaire par un sable de déchets de liège dans un mortier 1/3.

-Dans le deuxième axe nous avons substitué le même sable de carrière d'un mortier 1/3 par un sable de déchets des grignons d'olives.

Comparer les résultats obtenus avec un mortier témoin ensuite une étude comparative entre les résultats des deux axes.

Les paramètres fixes sont:

- ✓ **Le dosage en ciment**
- ✓ **Le dosage en eau**

Les paramètres variables sont:

- ✓ **Les taux de substitution des sables recyclés**

La réalisation de ce programme expérimental a conduit à la confection de plusieurs formulations.

III.3.2. Formulation des mélanges

Le mortier témoin 0% est un mortier 1/3 confectionné avec un volume de sable de carrière et 3 volumes de ciment, les mortiers avec sables recyclés sont obtenus par une substitution volumique dans la même formulation, du sable de carrière par des sables de déchets de liège et/ou grignons d'olives avec des taux 0, 5, 10, 15, 20, 25 et 30 % pour les deux formulations, la quantité d'eau est fixée par des essais préliminaires de consistance. Les différentes formulations sont représentées dans le tableau III-7.

Mortier	Ciment	Sable ordinaire SC	Sable de déchets de liège SL	Sable de grignons d'olives SG	Eau
M0	1V	3 V	0	0	1V25
M5	1V	2.85V	0.15V	0.15V	1V25
M10	1V	2.7V	0.30V	0.30V	1V25
M15	1V	2.55V	0.45V	0.45V	1V25
M20	1V	2.4V	0.60 V	0.60V	1V25
M25	1V	2.25V	0.75V	0.75V	1V25
M30	1V	2.1V	0.9V	0.9V	1V25

Les essais réalisés sur l'ensemble des formulations sont:

*** A l'état frais**

- Mesure de la consistance selon la norme NF EN 1015-3.
- Mesure de la densité conforme à la norme NF EN 1015-6.

***A l'état durci**

- Résistance à la traction par flexion et à la compression aux âges 7, 28 et 90 jours.
- Absorption d'eau par capillarité selon la norme NF EN 480-5.
- Absorption d'eau par immersion selon Neville, 2000.
- Pénétration des ions des chlorures à 28,56 et 90 jours selon UNI 7928 et JIS A 1171.
- Résistance aux attaques chimiques par l'acide chlorhydrique (3% HCL), l'acide sulfurique (3% H₂SO₄), le chlore sodium (3% NaCL) et les eaux usées selon la norme ASTM C-267-97.

III.3.3. Fabrication des mélanges

a. Malaxage

Le mortier est réalisé conformément à la norme EN 196-1, dans notre travail nous avons utilisé un malaxeur normalisé (figure III-6), la méthode de malaxage est décrite comme suit:

- ✓ Verser l'eau dans le récipient et introduire le ciment.
- ✓ Mettre alors immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente et après 30s, introduire régulièrement tout le sable (pendant les 30s suivantes)
- ✓ Mettre le malaxeur à une vitesse rapide et continuer à mélanger pendant 30s supplémentaires.
- ✓ Arrêter le malaxeur pendant 1 min 30 s. Pendant les 15 premières secondes, enlever au moyen d'une raclette en caoutchouc tout le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient en le repoussant vers le milieu de celui-ci.
- ✓ Reprendre ensuite le malaxage à vitesse rapide pendant 60s.



Figure III-6: Malaxeur de mortier

b. Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes doivent être moulées le plus vite possible après la confection du mortier.

Le moulage est réalisé en introduisant le mortier en deux couches successives dans les moules en appliquant un compactage mécanique à chaque couche à l'aide d'une table à choc, le mortier débordant sur le dessus du moule et arasé à l'aide d'une truelle avec mouvement sciant.

- Les éprouvettes sont de forme prismatique de section carrée (40x40 x160) mm (figure III-7) pour l'essai de compression et traction par flexion, capillarité et pénétration des chlorures.



Figure III-7: Moules prismatiques (40x40x160) mm

- Cubiques: (50x50x50) mm pour l'essai d'absorption d'eau par immersion et les résistances chimiques (figure III-8).



Figure III-8: Moules cubiques (50x50x50) mm

c. Conservation des éprouvettes

Avant le démoulage (figure III-9) toutes les éprouvettes ont été conservées pendant 24 heures dans la condition ambiante du laboratoire.



Figure III-9: Moule avant le décoffrage

Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés (figure III-10), nous sélectionnons chaque éprouvette avec un crayon résistant à l'eau et introduit les éprouvettes pour les essais de compression, traction par flexion, résistance chimique et pénétration de chlorure dans un bain d'eau à température $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (figure III-11).



Figure III-10: Eprouvettes après décoffrage



Figure III-11: Conservation des éprouvettes

*Les éprouvettes d'absorption d'eau par immersion et capillarité sont conservées à l'air jusqu'à 28 jours avant essais.

*Après 28 jours d'immersion dans l'eau, les éprouvettes destinées à la pénétration des chlorures sont conservés dans une solution de 5% NaCl.

*Après 28 jours d'immersion dans l'eau, les éprouvettes destinées à l'attaque chimique sont conservées dans les solutions citées ci-dessous:

- 3 % HCL
- 3 % H₂SO₄
- 3 % NaCL
- Eau usé

III.3.4.Méthodes d'essais

III.3.4.1 Essai à l'état frais

a. Essais de consistance

L'essai adopté sera conforme à la norme **NF EN 1015-3** (figure III-12) pour la détermination de la consistance du mortier:

- ✓ Avant chaque essai, essuyer le disque ainsi que la surface intérieure et les bords du moule à l'aide d'un chiffon humide, laissé sécher et lubrifier légèrement les surfaces à l'aide d'une huile minérale non résineuse de très basse viscosité.
- ✓ placer le mini cône au centre de la table de secousses et on le remplit en deux couches avec un compactage par au moins 10 coups. L'excès de mortier est enlevé du haut du moule avec le couteau à palette et la zone autour de la base du moule doit être nettoyée.

- ✓ on lève le mini cône et on applique 15 chocs par la table à secousses et on mesure l'étalement avec une règle.
- ✓ La valeur de l'étalement considéré, constitue la moyenne de la mesure de l'étalement du mélange à l'aide du pied coulisse sur deux directions.



Figure III-12: Mesure de l'étalement

b. Mesure de la densité

La masse volumique du mortier frais doit être systématiquement mesurée par la pesée d'un moule vide à une balance de précision de 0.01g selon la figure III-13. Si (M) la masse du moule plein (avec mortier) et Mo celle du moule vide, la densité est déduite par application de la formule suivante :

$$\rho = (M - M_o) / V$$

M : la masse du moule plein en g,

M_o : moule vide en g,

V : volume du moule en cm³.



Figure III-13: Mesuré de la densité

III.3.4.2. Essai à l'état durci

a. Résistance en traction par flexion

Le dispositif de flexion (figure III-14) comporte deux appuis à section semi-cylindrique de 10 mm de diamètre sur lesquels repose l'éprouvette prismatique suivant une force latérale de moulage, et un troisième appui de même diamètre, équidistant des deux premiers et transmettant de la charge P (figure III-15), pour faire une répartition uniforme des efforts sur l'éprouvette. La résistance en flexion R_t (en N/mm^2) est calculée au moyen de la formule:

$$R_t = 3PL / 2bh^2$$

P : force appliquée en N.

b : largeur de l'éprouvette (mm).

h : hauteur de l'éprouvette (mm).

l : distance entre les appuis (mm).

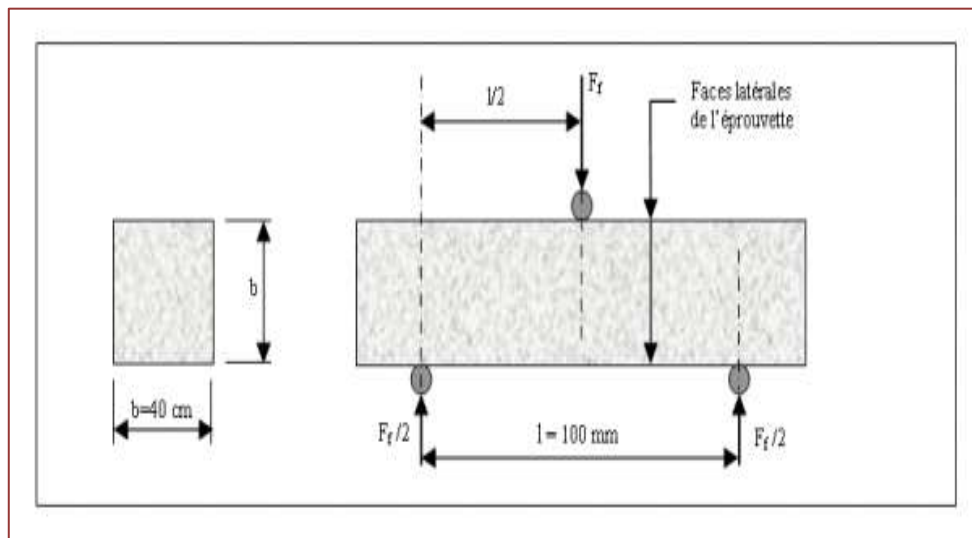


Figure III-14: Dispositifs pour l'essai de flexion



Figure III-15: Essai de traction par flexion

b. Résistance à la compression

Chaque demi-éprouvette a subi l'essai de compression sur ces faces latérales de moulage, sous une section de $4 \times 4 \text{ cm}^2$, entre deux plaques de métal dur d'au moins 10 mm d'épaisseur, de $40 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ de largeur, ces plaques sont en carbure de tungstène, la demi-éprouvette est placée de manière que son extrémité intacte dépasse d'au moins 1 cm et que les arêtes longitudinales d'éprouvettes soient perpendiculaires à celle des plaques (figure III-16). Les plaques sont guidées sans frottement appréciable au cours de l'essai, de manière à avoir la même projection horizontale, l'une d'elles peut s'incliner légèrement pour permettre le contact parfait, plaque–faces d'éprouvette. La résistance à la compression est calculée suivant la formule:

$$R_c = F/S \text{ en MPa}$$

F: charge appliquée en N,

S: section latérale de l'éprouvette en mm^2



Figure III-16: Essai de compression

c. Absorption d'eau par immersion

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à la masse sèche de l'échantillon dans une étuve (figure III-17) conformément à la norme NF P 18-555.

Le coefficient d'absorption (A_b) est donné par la formule suivante:

$$A_b = (M_a - M_s) / M_s \times 100$$

M_s : masse d'éprouvette après passage à l'étuve (105°C) jusqu'à 24 heures.

M_a : masse d'éprouvette après immersion 24 heures dans l'eau.



Figure III-17: Etuves pour l'essai d'absorption d'eau par immersion

d. Absorption capillaire

Cette caractéristique reflète la quantité d'eau pouvant être absorbée par l'échantillon lorsqu'une seule face de l'élément est en contact avec de l'eau. Elle s'exprime par le coefficient de capillarité C $g/(m^2.s^{1/2})$.

Les éprouvettes sont séchées à $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour en déterminer la masse sèche. Elles sont ensuite mises en contact avec 3 mm d'eau par l'une de leurs faces. L'évolution de la masse est suivie à intervalles réguliers et portée sur un graphique en fonction de \sqrt{t} . Généralement, cette évolution est linéaire par rapport à \sqrt{t} . Le coefficient de capillarité (C) est alors calculé comme la pente de la droite de régression marquant la première phase d'absorption, soit :

$$C = (m_i - m_d) \times 100 / (A \sqrt{t})$$

Avec:

m_i : la masse au temps i .

m_d : la masse sèche.

A : la surface en contact avec l'eau.

e. Pénétration des chlorures

Un mortier est d'autant plus durable qu'il résiste à la pénétration des agents agressifs et les conditions climatiques ou environnementales. Parmi les paramètres qui agissent sur la durabilité, il y a la pénétration des chlorures.

Pour les échantillons d'essais, on a utilisé des éprouvettes prismatiques $(4 \times 4 \times 16)\text{ cm}^3$. Après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées et conservées dans l'eau à $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 28 jours, à l'issue de laquelle elles sont immergées dans une solution de NaCl concentrée à 5%.

Après 28 jours d'immersion dans la solution NaCl, la résistance à la pénétration des chlorures est déterminée selon les normes UNI 7928 et JIS A 1171. La solution d'essai NaCl a été changée tous les 28 jours jusqu'à une période d'immersion de 90 jours.



Figure III-18: Sciage des éprouvettes

Figure III-19: Eprouvettes traités par le nitrate d'argent AgNO_3

A chaque essai (28 jours), l'éprouvette sera coupée en deux afin d'obtenir des mini-prismes ($4 \times 4 \times 8$) cm^3 (figure III-18). Puis on verse sur chaque section coupée une solution de nitrate d'argent AgNO_3 selon la norme UNI 7928 en attendant leur absorption par ces derniers. Le bord de chaque section change de couleur, on obtient une couleur blanche qui représente la profondeur de pénétration des chlorures. On mesure l'épaisseur de la partie colorée à l'aide d'un pied à coulisse sur plusieurs positions (figure III-19). La profondeur de pénétration (X) est la moyenne de toutes les lectures.

f. Essais des résistances chimiques

Les éprouvettes destinées à l'essai de la résistance chimique sont conservées après décoffrage dans l'eau pendant 28 jours à une température de 20 ± 2 °C ensuite les éprouvettes seront pesées pour déterminer leur poids initial M_0 avant l'attaque chimique, puis immergées dans les solutions:

- 3 % HCL, (figure III-20).
- 3 % H_2SO_4 , (figure III-21).
- 3 % NaCL, (figure III-22).
- Eau usée, (figure III-23).



Figure III-20: Conservation des éprouvettes dans HCL



Figure III-21: Conservation des éprouvettes dans H_2SO_4



Figure III-22: Conservation des éprouvettes dans NaCL



Figure III-23: Conservation des éprouvettes dans Eau usée

Les éprouvettes seront pesées avec une balance de précision de 0.01g après les avoir nettoyées trois fois avec l'eau de robinet pour éliminer le mortier altéré et laissées sécher pendant 30 minutes, cette opération de mesure de pesée M_i (figure-24) sera effectuée aux échéances 3,7,14,21, 28,56,90 et 120 jours, la solution d'attaque est renouvelée à sa totalité chaque 14 jours (selon les valeurs de PH). La perte de masse p est donnée par la formule:

$$P (\%) = [(M_i - M_0)/M_0] \times 100$$

M_1 : masse de l'éprouvette avant immersion

M_2 : masse de l'éprouvette nettoyée et séchée après immersion

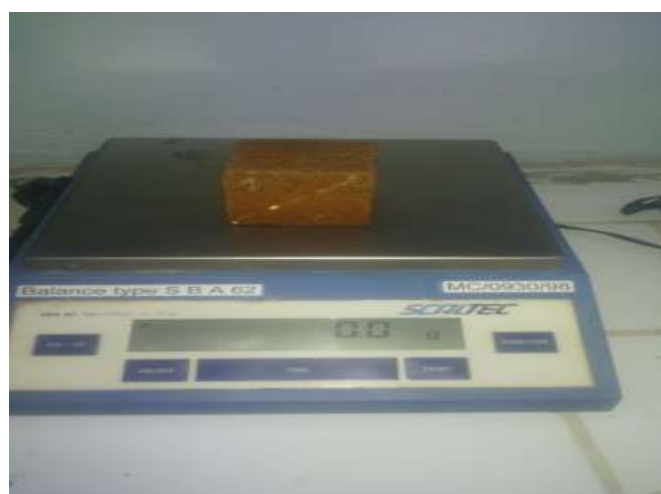


Figure III-24: Pesée des échantillons

III.4. Conclusion

D'après les résultats des essais de caractérisations on conclut:

- Le sable de grignons d'olives est plus léger que le sable de liège.
- Le sable de liège absorbe plus d'eau que le sable de grignons d'olives et ordinaire respectivement.
- Le sable ordinaire présente une bonne répartition granulométrique par rapport aux autres sables.
- Le sable ordinaire est plus fin que le sable de liège et de grignons d'olives.

Dans la partie programme expérimental on a présenté:

- Le programme expérimental.
- Les compositions des mélanges des mortiers.
- L'ensemble des essais réalisés sur les mortiers.
- Les méthodes d'essais.

CHAPITRE IV

**Influence du taux de substitution des
sables recyclés sur les propriétés
du mortier à l'état frais et durci ainsi
que les paramètres de durabilité**

IV. Influence du taux de substitution des sables recyclés sur les propriétés du mortier à l'état frais et durci ainsi que les paramètres de durabilité

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre on donne une analyse détaillée sur l'ensemble des essais effectués sur les propriétés des mortiers à l'état frais, densité et ouvrabilité et durci; résistance en compression et en traction par flexion ainsi que les paramètres de durabilité (absorption d'eau par immersion et capillaire et les résistances aux acides et au base).

IV.2. Influence du taux de substitution sur les propriétés des mortiers

IV.2.1. Influence du taux de substitution sur les propriétés des mortiers à l'état frais

IV.2.1.1. Consistance

L'ajout du sable de liège dans le mortier a considérablement diminué l'étalement résultant en un mélange moins ouvrable que le mortier témoin dont les résultats des essais sont résumés par la figure IV-1 et qui sont en conformité avec ceux obtenus par (**Panesar et Shindman (2012)**). Ce qui peut s'expliquer par la capacité élevée du sable de liège à absorber l'eau qui réduit la maniabilité du mortier. La similitude des résultats est observée dans le cas de l'ajout du sable des grignons d'olives qui quant à eux présentent une consistance sèche par rapport aux mortiers à base de sable de liège chose confirmée par la littérature (**Farag et al., (2020)**).

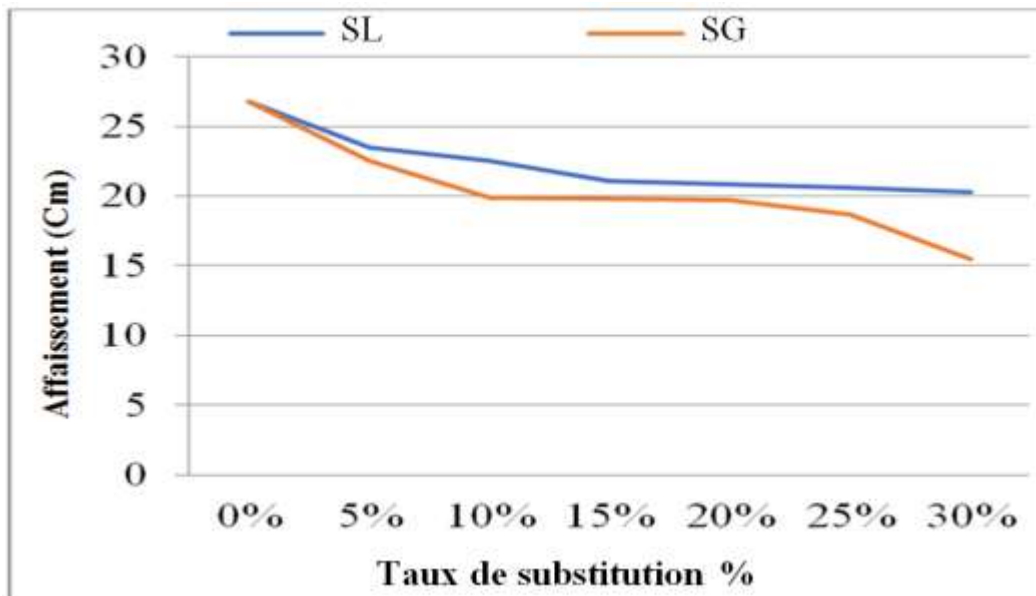


Figure IV-1: Variation de la consistance en fonction du taux de substitution

L'ouvrabilité du mortier avec ajout du sable des grignons d'olives a diminué parce que le déchet est composé de cellulose, d'hémicellulose, de lignine, de matière grasse et de cendres. La lignine sous forme liquide renferme plus de carbone que les autres éléments et contribue à accroître l'humidité de façonnage de la matière. Ce composé organique rend la pâte plus plastique (**Chemani (2013) et Wertz (2010)**).

IV.2.1.2. Densité

La teneur en sable de liège ou en grignons d'olives présente une grande influence sur la densité du mortier. Les résultats résumés par la figure IV-2 montrent clairement que:

-L'augmentation de la quantité du sable de liège entraîne généralement une réduction de la densité et généralement des propriétés mécaniques pour la diminution de la densité, cela peut-être fait référence à la faible densité du granulat de liège équivalent à $0,440 \text{ g/cm}^3$ la densité relativement faible du sable de liège est principalement liée à la forte teneur en gaz à l'intérieur des petites cellules (**Barnat-Hunek et al., (2018)**).

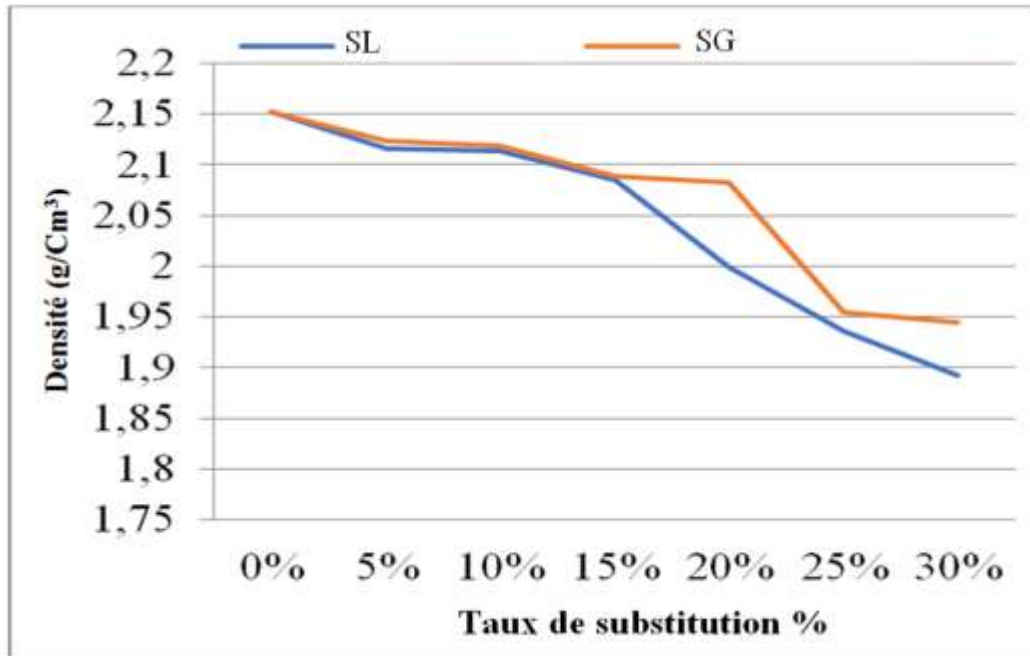


Figure IV-02: Variation de la densité à l'état frais en fonction taux de substitution

-Pour les mortiers à base du sable des grignons d'olives, tous les spécimens ont atteint des densités inférieures au mortier de référence en raison de l'importante porosité des grignons d'olives et le lien plus faible entre les grignons d'olives et la matrice de ciment, ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par (**Del Río Merino et al., (2017)**).

On remarque que les mortiers fabriqués en remplaçant du sable ordinaire par le sable de liège présentent une densité à l'état frais inférieure à celle des mortiers qui étaient fabriqués en remplaçant du sable ordinaire par du sable des grignons d'olives.

IV.2.2. Influence du taux de substitution sur les propriétés des mortiers à l'état durci

IV.2.2.1. Résistance à la compression

D'après les résultats obtenus (figure IV-3), on constate une chute très rapide de la résistance à la compression en passant du mortier témoin au mortier allégé par les sables recyclés. Cela est dû à l'augmentation des vides et par conséquent la porosité du matériau augmente (**Ziregue et al., (2018)**).

L'introduction de 5% à 30 % de sable de liège (figure IV-3 (a)) mène à une baisse des résistances en compression de l'ordre de 40.77%, 42.91%, 50.54%, 63.75%, 67.82% et 68.35% respectivement comparativement à celle du mortier témoin.

À l'échéancier de 28 jours, les tendances observées à 7 jours se reproduisent, on constate la réduction de résistance par rapport à celle de mortier témoin.

Après 90 jours la décroissance des résistances devient plus remarquable, les pertes de résistance enregistrées sont de l'ordre de 50.94%, 54.95%, 55.27%, 66.51%, 66.89% et 68.85% dans les mortiers de 5% à 30 % de sable de liège recyclé successivement.

Les propriétés mécaniques des mélanges ciment-liège ne se limitent pas à la faible densité du sable de liège, mais également par l'interaction des extraits de liège avec le processus d'hydratation du ciment (**Karade et al ., (2006)**).

Les études de (**Panesar et Shindman (2012)**) ont montré que la plus grande quantité de liège réduisait considérablement le taux d'hydratation.

Les résultats de résistance à la compression obtenus dans notre étude étaient comparables à ceux trouvés dans les travaux de (**Brás et al., (2013)**).

À l'âge de 7 jours (figure IV-3 (b)), les résistances des mortiers allégés par du sable des grignons d'olives sont faibles comparativement à celle du mortier témoin.

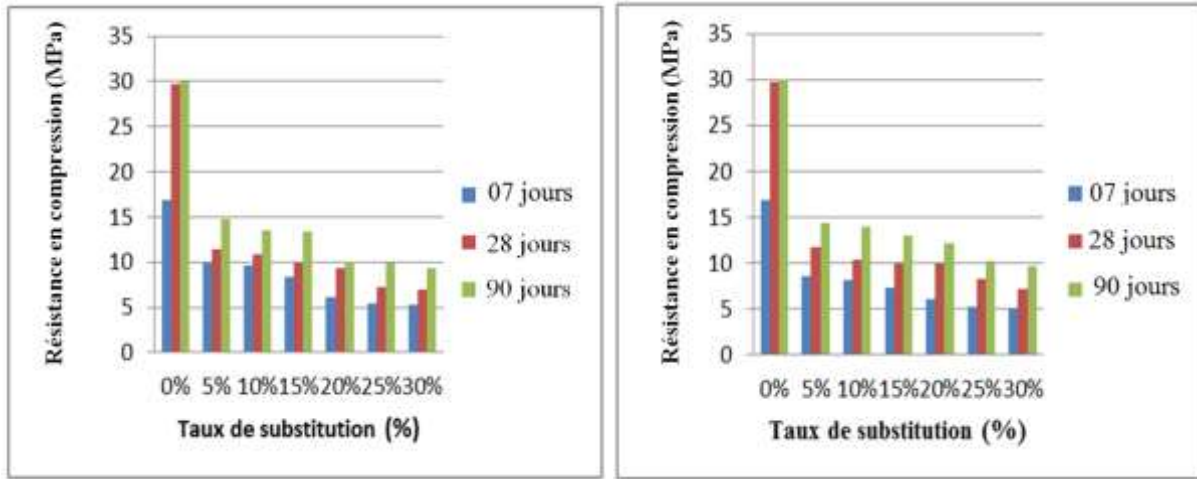
L'introduction de 5% à 30% de sable de grignons d'olives mène à une baisse des résistances en compression de l'ordre de 49.33%, 51.37%, 56.98%, 63.83%, 69.19 % et 70.01% respectivement comparativement à celle du mortier témoin.

À l'échéancier de 28 jours, les tendances observées à 7 jours se reproduisent, on observe la réduction de résistance par rapport à celle de mortier témoin.

À long terme (90 jours), la décroissance des résistances devient plus remarquable, Il y a des pertes de résistance de l'ordre de 52.05%, 53.73%, 56.61%, 59.63%, 65.84% et 67.86% dans les mortiers de 5% à 30 % de sable de grignons d'olives successivement.

L'augmentation de la quantité du sable des grignons d'olives entraîne généralement une réduction de la résistance mécanique (**Arezki et al., (2016)**) parce que l'augmentation de la quantité de résidus organiques cause une réduction de la densité et une augmentation de la porosité.

Le mortier témoin a une résistance à la compression supérieure à des mélanges avec les deux mortiers avec du sable de liège et des grignons d'olives.

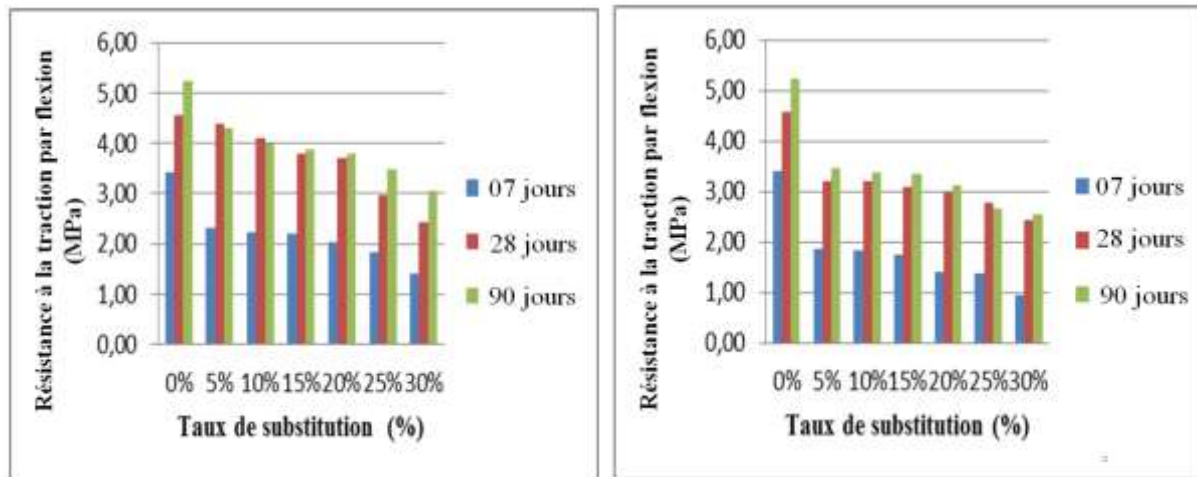


(a) Mortier à base de sable de liège (b) Mortier à base de grignons d'olives

Figure IV-3: Effet du taux de substitution sur la résistance à la compression

IV.2.2.2. Résistance à la traction par flexion

Les résultats de l'essai de la résistance en traction par flexion illustrés par figure 4, montrent des tendances similaires à la résistance en compression. On note une évolution des résistances à la traction par flexion qui augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute jusqu'à l'âge de 90 jours.



(a) Mortier à base de sable de liège (b) Mortier à base de grignons d'olives

Figure IV-4: Effet du taux de substitution sur la résistance à la traction par flexion

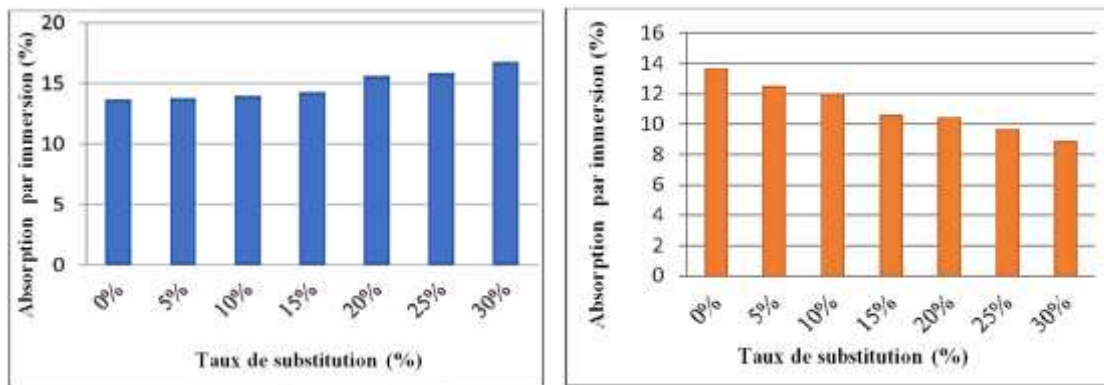
Toutefois, les valeurs de la résistance à la traction des mortiers a base de sable de liège (figure IV-4 (a)), sont faibles comparativement à celles du mortier témoin à tous les âges à cause de l'absorption de l'eau du sable de liège et la mauvaise adhérence entre la pâte de ciment et les granulats de liège en plus la présence accrue de pores dans la structure de liège. Les valeurs des résistances à la flexion obtenues dans nos études étaient comparables à celles trouvée dans les travaux de (Brás et al., (2013)).

Dans le cas des mortiers avec ajout de sable des grignons d'olives (figure IV-4 (b)) les niveaux de résistance à la traction, sont faibles comparativement à celles du mortier témoin à tous les âges. On constate que la résistance à la traction diminue lorsque la densité du mortier diminue, ceci est tout à fait logique car la résistance à la traction est, comme pour les mortiers classiques, une fonction croissante de la densité.

Nous pouvons conclure que les résistances à la traction des mortiers à base de sable de liège et des grignons d'olives, sont faibles comparativement à celles du mortier témoin à tous les âges.

IV.2.2.3. Absorption d'eau par immersion

La capacité d'absorption d'un mortier nous renseigne d'une manière générale sur la présence et l'importance des vides (pores) en vue de tester la compacité du mélange. L'analyse des résultats obtenus (figure IV-5 (a)), montre que le mortier témoin, présente un coefficient d'absorption égale à 13.71% plus faible que ceux à base de sable de liège recyclé quel que soit le taux de substitution. En effet, le coefficient d'absorption augmente proportionnellement avec le pourcentage de sable de liège recyclé jusqu'à un taux de substitution de 30% (coefficient d'absorption maximal égale 16.79 %) et cela est dû à la porosité et au volume des pores ouverts, mentionné précédemment par **(Rosa et fortes (1993))**.



(a) Mortier à base de sable de liège

(b) Mortier à base de grignons d'olives

Figure IV-5: Absorption d'eau par immersion en fonction du taux de substitution

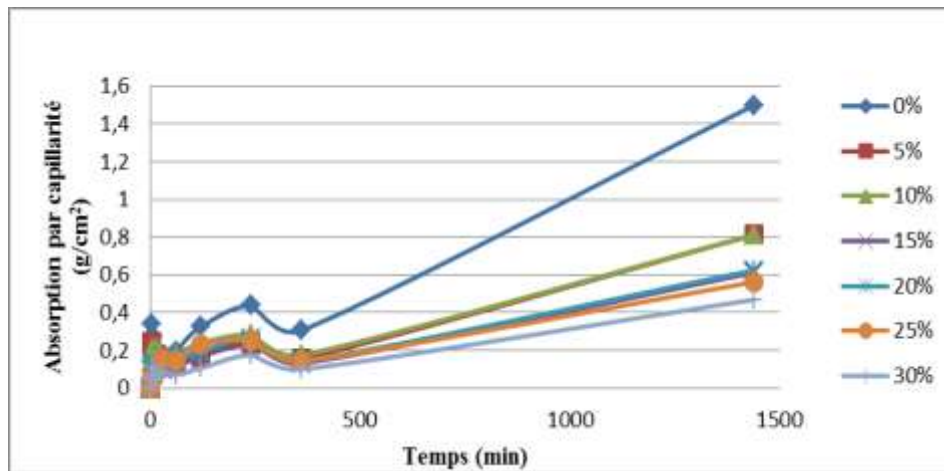
Contrairement constaté, les résultats obtenus avec le mortier à base de sable des grignons d'olives (figure IV-5 (b)), indiquent que l'absorption par immersion a tendance à diminuer par rapport à l'augmentation du pourcentage du sable des grignons d'olives.

Le sable des grignons d'olives recyclé diminue le coefficient d'absorption par immersion par rapport au mortier témoin, l'incorporation de 30% de sable des grignons d'olives dont le coefficient d'absorption égale à 8.85% est très avantageuse puisqu'elle permet une diminution importante de l'absorption d'eau d'où une porosité réduite par rapport au mortier de référence. Ces résultats sont dus au fait que les particules de grignon d'olives étaient bien recouvertes d'un liant polyester qui réduit leurs perméabilité **(Farag et al., 2020)**, de plus ils ont un faible pouvoir d'absorption d'eau, ce qui s'explique par leurs propriétés huileuses **(Elbakkouri et al., (2005))**. Cependant, les résultats restent inférieurs à ceux enregistrés avec du mortier contenant de sable de liège en remplacement du sable ordinaire pour tous les taux.

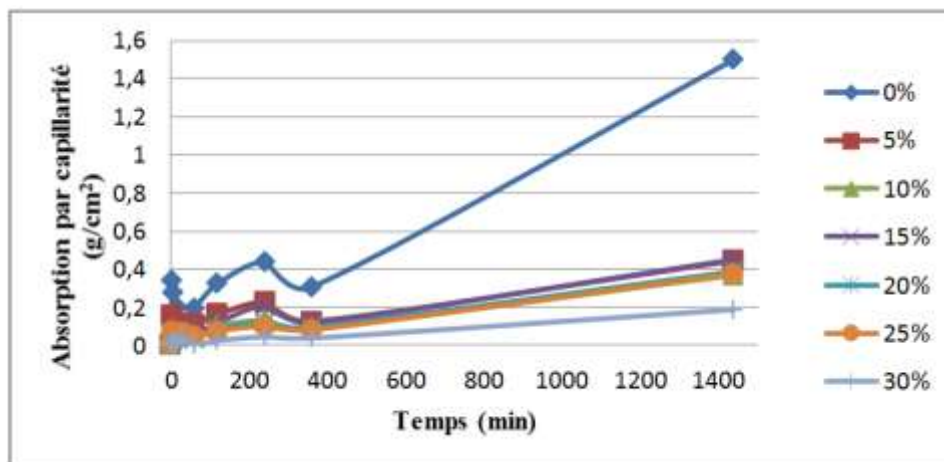
IV.2.2.4. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats des tests d'absorption capillaire (figure IV-6) montrent que l'absorption capillaire d'eau augmente avec le temps pour tous les mélanges pendant 24 heures.

Il est nettement visible que l'absorption d'eau par capillarité diminue avec l'augmentation du dosage du sable de liège recyclé (figure IV-6 (a)). Cette diminution est sûrement due à l'augmentation de la compacité du mortier.



(a) Mortier à base de sable de liège



(b) Mortier à base de grignons d'olives

Figure IV-6: Variation de l'absorption d'eau par capillarité

Dans la phase de remplacement du sable par 5 à 30% de sable des grignons d'olives (figure IV-6 (b)) différentes corrélations décrivent la diminution significative des valeurs d'absorption d'eau par capillarité.

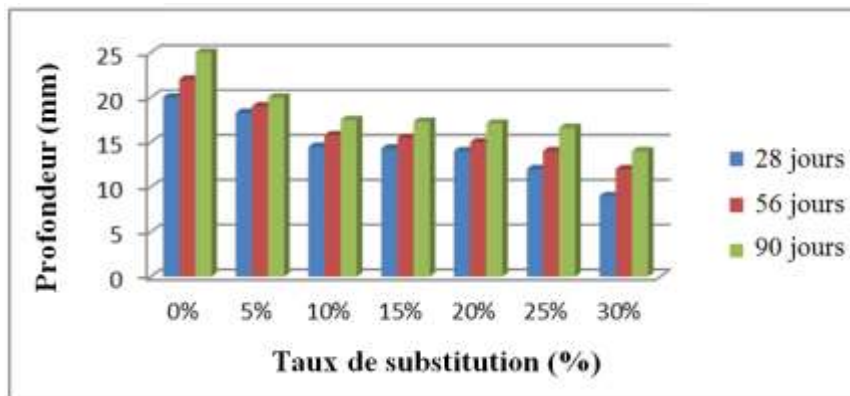
Selon les recherches effectuées par (Farag et al., (2020)), les particules des grignons d'olives étaient bien recouvertes de liant polyester, ce qui réduit l'effet sur la perméabilité des grignons d'olives lui-même.

IV.2.2.5. Pénétration des chlorures

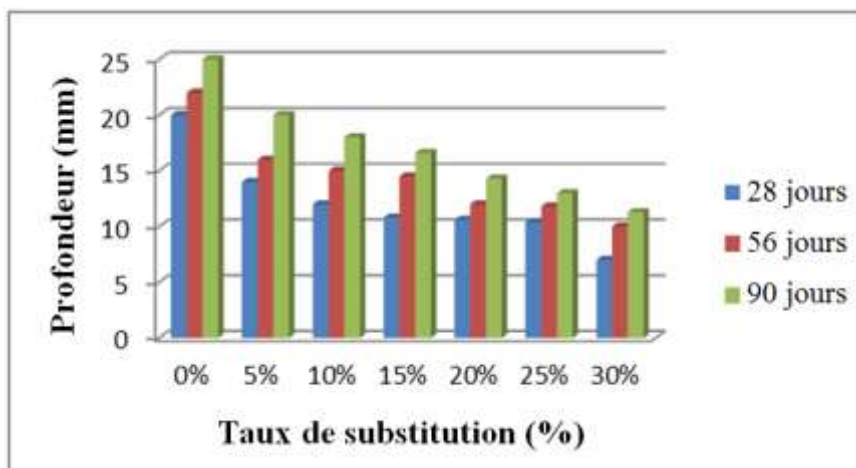
La figure IV-7 montre que le mortier de référence atteint la plus grande profondeur de pénétration des chlorures à 90 jours avec une légère diminution en profondeur par rapport aux autres âges 28 et 56 jours et la profondeur la plus basse de pénétration du chlorure a été enregistrée par le mélange à 30% de sable de liège recyclé (figure IV-7 (a)) en remplacement du sable pour tous les âges avec 9, 12 et 14 mm correspondantes à 28, 56 et 90 jours respectivement ces valeurs représentent 55, 45.45 et 44 % sous celui de référence.

En général, les valeurs expérimentales obtenues décrivent une corrélation entre la profondeur de pénétration des chlorures et les taux de substitution. La présence de sable de liège dans le mortier réduit l'absorption lors de l'immersion dans la solution de NaCl. La cinétique d'absorption est assez lente à long terme, mais finalement les cellules se remplissent d'eau, la densité augmente au-dessus de celle de l'eau et le liège coule (**Rosa et fortes (1993)**).

La subérine est le constituant clé qui détermine la capacité du liège à résister à l'absorption d'eau (**Gil et al., (2000)**). Tous ces facteurs entraînent une diminution de la migration des ions de chlorure.



(a) Mortier à base de sable de liège



(b) Mortier à base de grignons d'olives

Figure IV-7: Profondeur de pénétration des chlorures en fonction du temps après immersion dans 5% de NaCl

Le même comportement est enregistré par les mortiers contenant de sable des grignons d'olives (figure IV-7 (b)) en remplacement du sable ordinaire une diminution remarquable de la profondeur de pénétration a été enregistrée en fonction des taux de substitution de sable des grignons d'olives de 5% à 30% par rapport au mortier de référence pour tous les âges. Il est à noter qu'il y a une légère diminution de la profondeur de pénétration des chlorures dans les mortiers contenant de sable des grignons d'olives par rapport à celle des mortiers contenant de sable de liège recyclé en remplacement du sable.

Il devient clair d'après les résultats obtenus dans notre étude que le sable des grignons d'olives présente une plus grande résistance à l'absorption d'eau que le sable de liège recyclé. Cela fait référence aux propriétés fonctionnelles du système d'exploitation contre l'eau telles que la présence du liant polyester qui recouvre les grignons d'olives, sa porosité, le volume des pores ouverts et à sa structure. Ces mêmes propriétés influencent aussi la vitesse de pénétration des chlorures.

Outre ces propriétés, la différence entre les profondeurs de pénétration pourrait être due à une mobilité différente des chlorures à l'intérieur des pores suite à leur distribution dans la matrice cimentaire.

IV.2.2.6. Résistance chimique des mortiers dans les milieux agressifs

Dans cette partie de l'étude nous avons utilisé la méthode gravimétrique qui est basée sur la variation de la masse en fonction du temps d'immersion pour différents taux de substitution du sable de liège et des grignons d'olives.

a. Effet de l'acide chlorhydrique HCL

Les courbes de la figure IV-8 montrent clairement que les performances de résistance à l'attaque chimique (HCl) du mortier à base de sable de liège sont meilleures que celles de mortier témoin. Ce dernier présente à titre d'exemple une perte de 11.41% de sa masse après 120 jours contre 7.5 % pour les mortiers à 30% de sable de liège durant la même période. Cette performance peut être due à l'augmentation de la compacité du mortier.

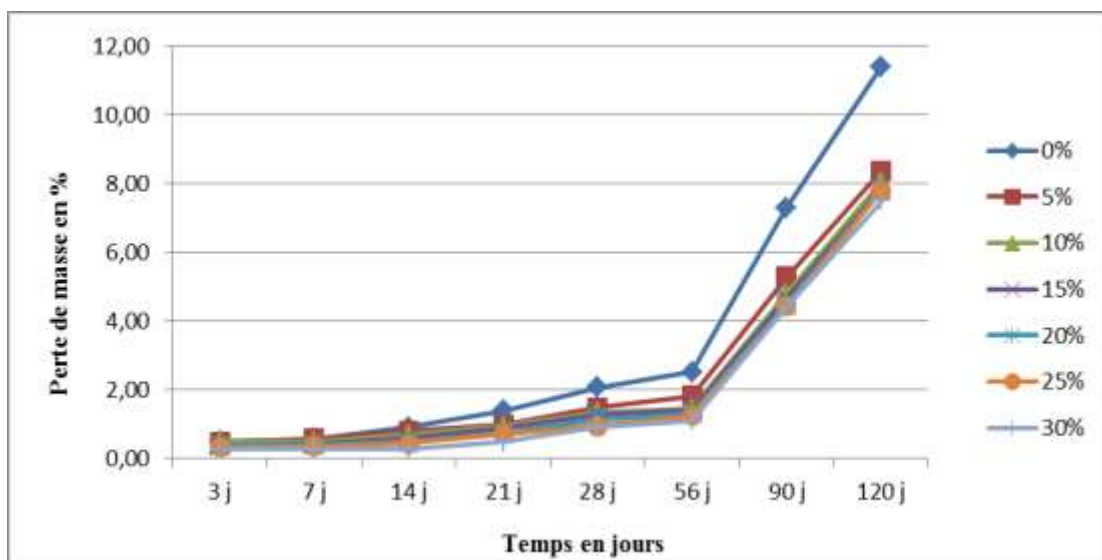


Figure IV-8: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans 3% HCl

La perte de masse est due au fait que le ciment portland après hydratation, libère une partie d'hydroxyde de calcium libre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ qui peut être lixiviée à l'extérieur quand il est soumis aux attaques par les acides. Le taux d'attaque dépend de la qualité et de la perméabilité du mortier, et également de la solubilité du sel résultant.

Pour les mortiers étudiés en contact avec l'acide chlorhydrique, ce dernier réagit avec l'hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour former le chlorure de calcium CaCl_2 qui détériore les éprouvettes, provoquant une perte de masse selon l'équation Eq(IV-1).



L'incorporation de 5% à 30% de sable de liège recyclé dans la formulation des mortiers, augmente leurs résistances chimiques à long terme par rapport au mortier témoin vis-à-vis des agressions par l'acide HCL, à travers leurs propriétés pouzzolaniques dont la réaction est lente comparativement à celle d'hydratation du C3S (**Kherraf et al., (2019)**).

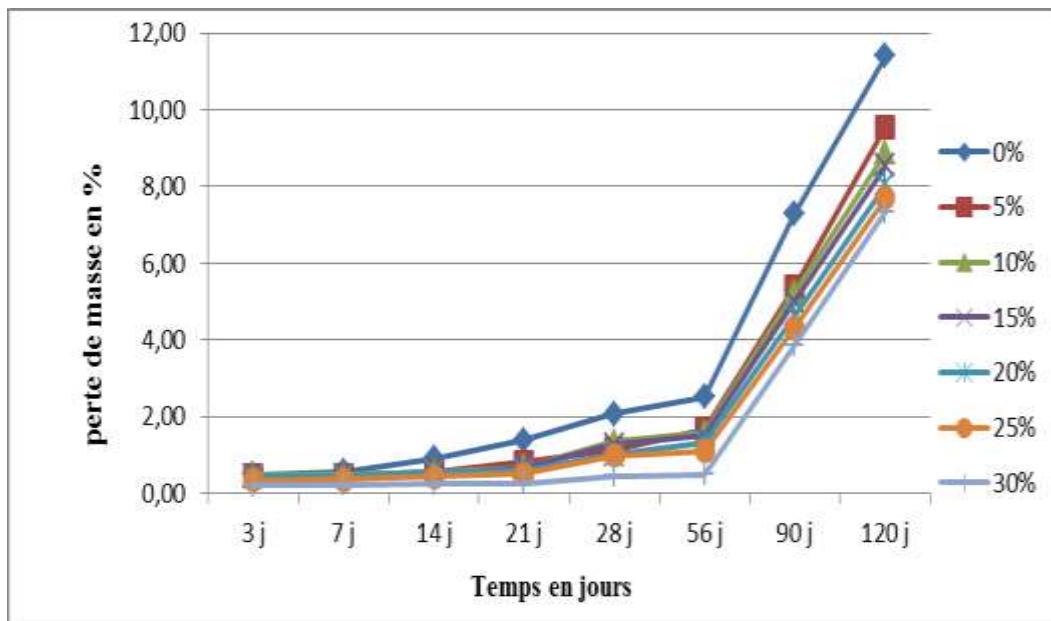


Figure IV-9: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion dans 3% HCl

Des performances similaires sont observées pour les mortiers à base des grignons d'olives (figure IV-9), ils montrent une perte en masse dans le milieu corrosif à travers le temps mais qui restent inférieure à celle du mortier de référence. Dans ce cas le mortier avec 30% de sable de grignons d'olives, subit une perte de masse à 7.34 % légèrement plus faible à celle du mortier à 30% de sable de liège pour la même durée de 120 jours. Ces résultats sont dus au fait que les particules de grignon d'olives étaient bien recouvertes d'un liant polyester qui réduit l'effet sur la perméabilité de grignon d'olives elle-même (**Farag et al., (2020)**) et au faible capacité d'absorption d'eau à cause de leurs propriétés huileuses (**El bakkouri et al., (2005)**), ce qui présente une barrière protectrice contre les attaques chimiques.

b. Effet de l'acide sulfurique H₂SO₄

La figure IV-10 illustre le comportement du mortier témoin et ceux à différents pourcentages de de sable de liège recyclé dans un milieu acide fort (H₂SO₄) en fonction du temps.

Pour les périodes de trois et moins de cinquante-six jours le mortier témoin présente une résistance meilleure à l'agression chimique de l'acide sulfurique H₂SO₄ que les autres mortiers.

A partir de 56 jours les mortiers à base de sable de liège résistent mieux à l'attaque de l'acide sulfurique par rapport au mortier témoin.

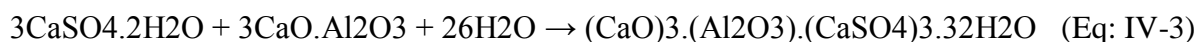
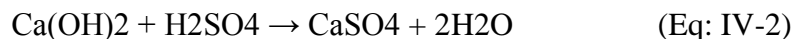
Cette perte de masse est due à un phénomène de lixiviation qui s'accroît avec le temps. En effet, on constate que la perte de masse est faible aux jeunes âges d'immersion par rapport aux âges plus avancés. Nous obtenons par exemple pour le mortier témoin après 28 jours d'immersion, une perte de masse de 0.44% qui passe à environ 1.55% à 56 jours et à 2.42% à 90 jours et à 3.66% à 120 jours d'immersion.

Le mortier contenant 30% de sable de liège recyclé, présente une meilleure résistance aux acides que le mortier témoin à long terme en effet, il perd 1.85% de sa masse à 120 jours d'immersion. Cela peut s'expliquer par le fait du développement de la réaction pouzzolanique dans ces mortiers qui consomme la portlandite qui est le constituant le plus soluble donc le premier à se lixivier lors de l'attaque par l'acide H₂SO₄.

L'acide sulfurique est un acide inorganique fort dont le caractère agressif est dû aux ions de sulfates. Sa sévérité augmente avec sa concentration.

Pour le mortier en contact avec l'acide sulfurique H₂SO₄, l'hydroxyde de calcium Ca (OH)₂ (portlandite) réagit avec l'acide sulfurique pour former des sulfates de calcium CaSO₄ qui sont déposées comme gypse (Eq: IV-2). En plus, le sulfate de calcium va réagir avec l'aluminate de calcium dans le ciment pour former le sulfoaluminate de calcium hydraté (ettringite) (Eq: IV-3) qui, après cristallisation, peut causer l'expansion du mortier.

Ces réactions forment aussi une couche blanchâtre sur la surface du mortier. La couche de gypse précipitée est facilement lixiviée dont le résultat est une perte de masse considérable.



La coloration de la surface des mortiers en blanc après leurs immersions dans l'acide sulfurique explique la présence de gypses et d'ettringite (**Kherraf et al ., (2019)**) .

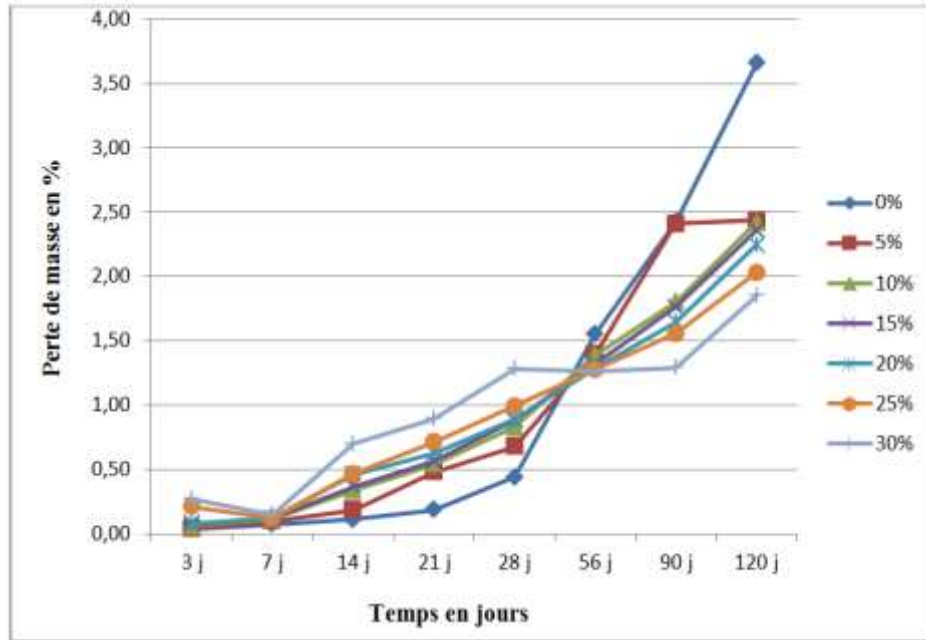


Figure IV-10: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans 3% H₂SO₄

La figure IV-11 montre la variation de la masse des éprouvettes de mortier confectionnées sans et avec sable des grignons d'olives avec différents pourcentages en fonction de la période d'immersion dans la solution de 3% H₂SO₄.

Après 3 jours d'immersion les mortiers avec ajout des grignons d'olives (5, 10 et 15%) ne montrent une stabilité de la masse par contre les mortiers à base de 20, 25 et 30% présentent un léger gain en masse.

À 7 jours d'immersion les éprouvettes avec ajout de 5 et 10% de sable des grignons d'olives subissent une perte de masse négligeable, environ 0,04% cette dernière augmente en fonction du temps. Pour le mortier de 25 et 30% de sable des grignons d'olives l'expansion des éprouvettes conservées dans la solution de l'acide sulfurique diminue régulièrement en fonction de la durée d'immersion.

À partir de 56 jours jusqu'à 120 jours toutes les éprouvettes à base de sable recyclé présentent une perte de poids moins sévère que le mortier témoin.

La résistance à la dégradation du mortier avec sable de liège/grignons d'olives dans un bain d'acide est bien meilleure que celle du mortier témoin.

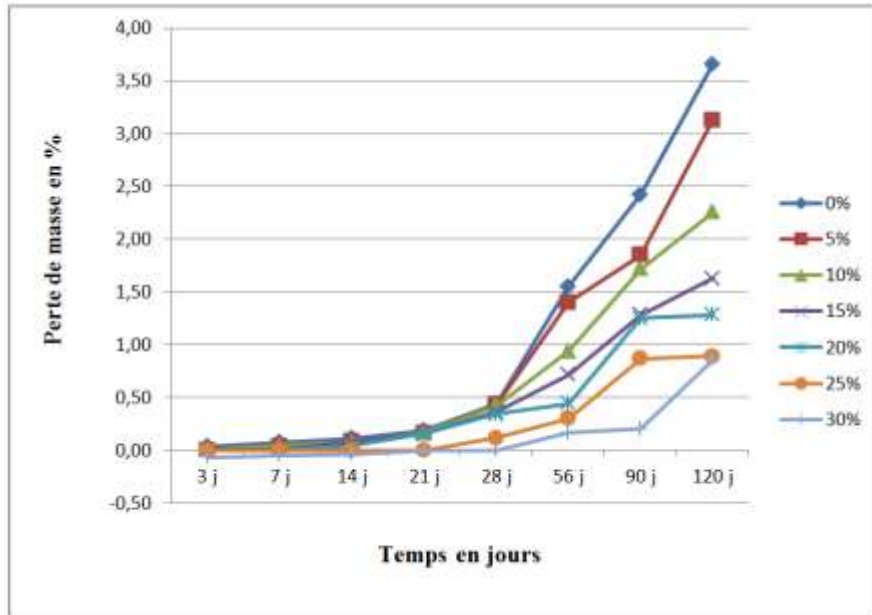


Figure IV-11: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion dans 3% H₂SO₄

c. Attaque des mortiers par NaCl

La figure IV-12 indique une augmentation de masse après 120 jours d'immersion mais qui reste inférieure au gain mesuré pour le mortier témoin à tous les âges.

Le milieu alcalin à base de NaCl semble affecter la structure poreuse des matériaux (**Baroghel-Bouny et al.,(1995)**) de plus l'absorption est réduite en présence du sable de liège. La cinétique d'absorption est assez lente à long terme, mais finalement les cellules se remplissent d'eau, la densité augmente au-dessus de celle de l'eau et le liège coule (**Rosa et fortes (1993)**). La subérine est le constituant clé qui détermine la capacité du liège à résister à l'absorption d'eau (**Gil et al., (2000)**).

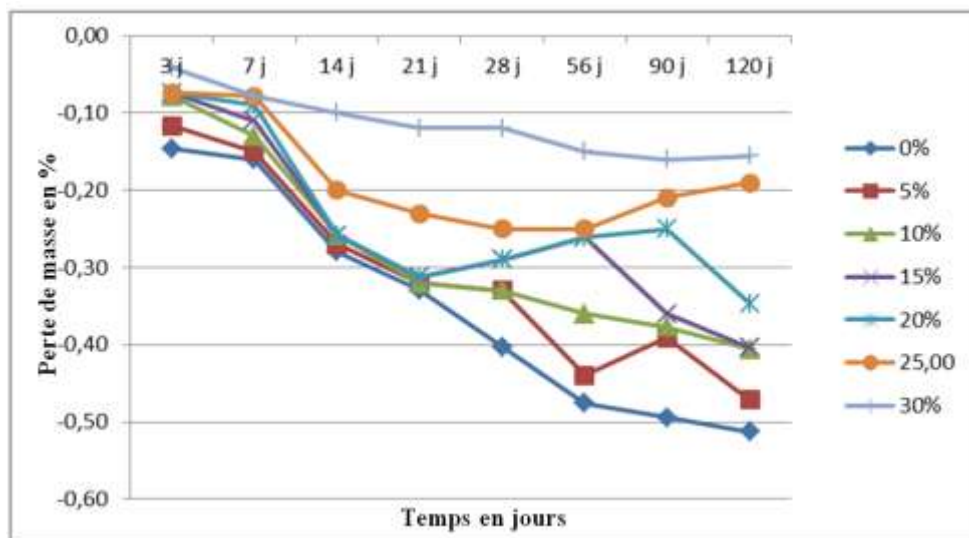


Figure IV-12: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans 3% NaCl

L'ensemble des mortiers figure IV-13 ont marqué des gains de masse permanents à partir de troisième jour de conservation qui sont représentés par des valeurs de signe négatif. Au jeune âge, le gain en masse pour le mortier témoin est inférieur par rapport au mortier à base de sable recyclé.

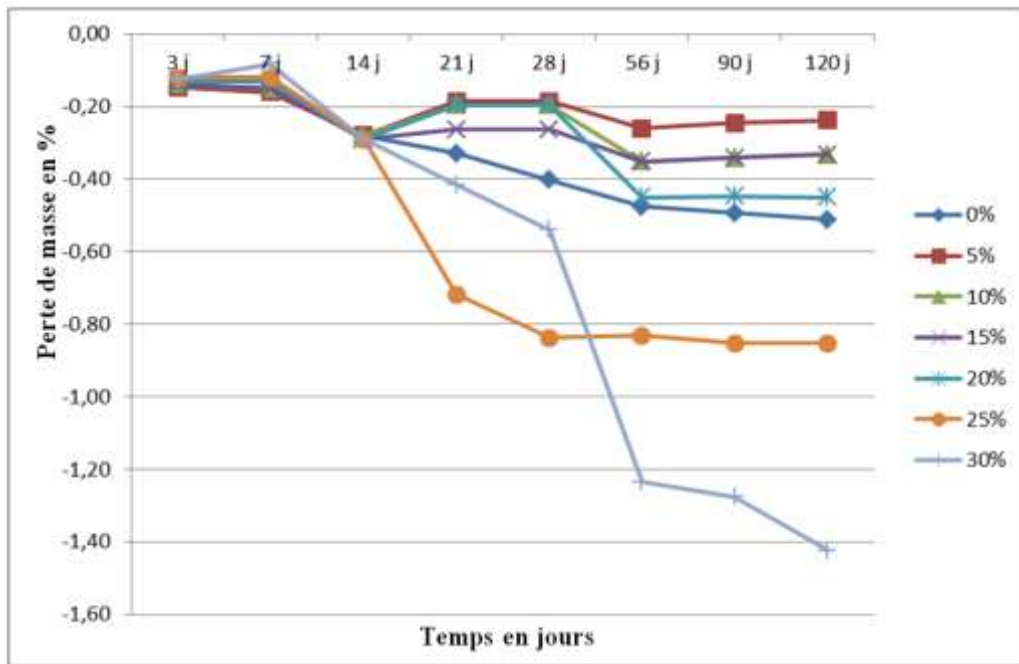


Figure IV-13: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion 3% NaCL

À partir de 14 jours jusqu' à 120 jours, le gain en masse de mortier à base de sable recyclé est supérieur par rapport au mortier témoin, ce résultat peut être expliqué que les grignons d'olives ont un faible pouvoir d'absorption d'eau. Ceci s'explique par leurs propriétés huileuses (Elbakkouri et al., (2005)).

d. Eau usée

L'usage d'eau usée comme bain d'essai nous ramène aux résultats présents sur les figures IV .14 et 15 pour les différents cas d'étude. Pour le mortier témoin on remarque que le gain de masse augmente continuellement par rapport au temps puis il chute à l'âge de 56 jours jusqu' à 120 jours avec un taux de 0.06 %. Pour les mortiers à base de sable de liège nous constatons que l'expansion s'accroît régulièrement en fonction de la durée d'immersion puis elle chute à l'âge de 28 jours jusqu' à 120 jours. Après 120 jours d'immersion on ne remarque pas une évolution de la perte de masse pour le mortier qui contient 30% de sable de liège.

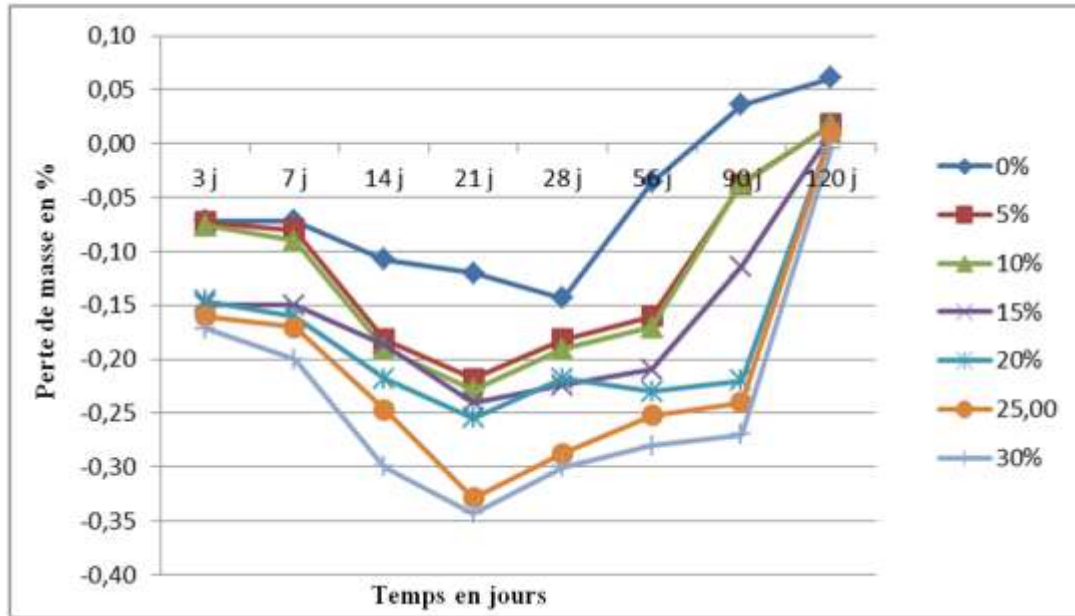


Figure IV-14: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de liège en fonction du temps d'immersion dans l'eau usée

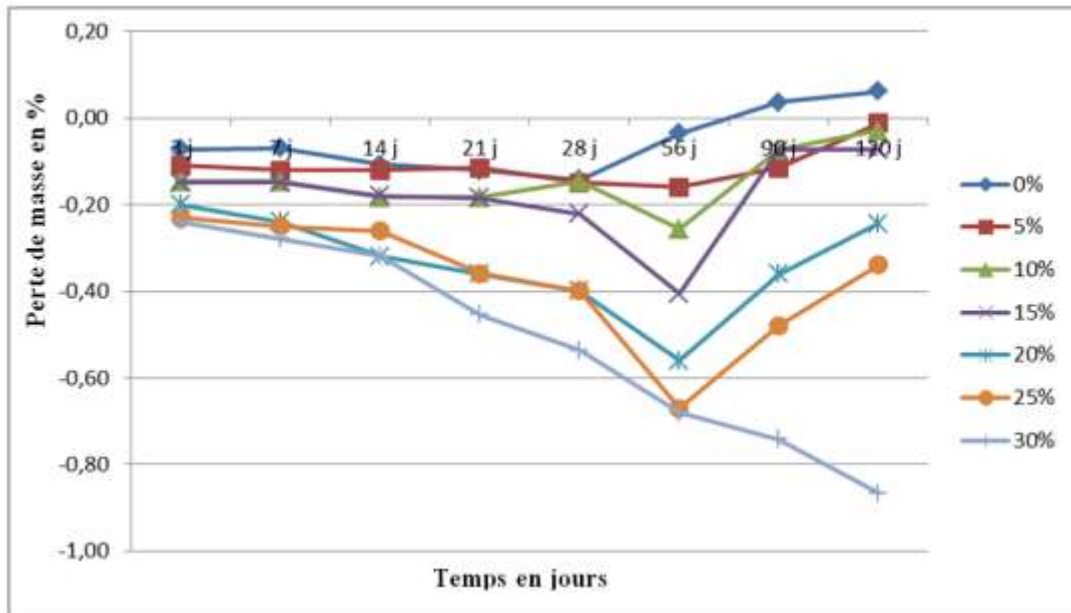


Figure IV-15: Variation de la perte de masse des mortiers à base de sable de grignons d'olives en fonction du temps d'immersion dans l'eau usée

Les mortiers à base de sable de grignons d'olives (figure.IV.15) présentent respectivement des gains de masse de l'ordre de 0,01 %, 0,03 %, 0,07 %, 0,24, 0,34 et 0,87% après 120 jours en fonction du taux de substitution.

IV.3. Conclusion

L'utilisation de liège ou des grignons d'olives peut être une solution économiquement et écologiquement durable, car leur réutilisation en tant que granulats légers permettrait de résoudre le problème de son élimination et de produire de bons matériaux de construction utilisés dans la réhabilitation des bâtiments anciens, et pour améliorer certaines propriétés fonctionnelles, physiques et mécaniques, c'était l'objectif et la motivation de notre étude, dans ce but les déchets de liège et des grignons d'olives sont introduits sous forme de sable dans la composition de mortier, remplaçant en partie le sable ordinaire suivant différents pourcentages.

Les travaux effectués sont des essais mécaniques et chimiques à travers lesquels nous avons tiré les constatations suivantes:

-Les granulats légers en liège et grignons d'olives abaissent les paramètres de résistance et la densité des mortiers et diminuent l'ouvrabilité.

-Les résultats obtenus indiquent que l'incorporation des grignons d'olives dans le mortier réduit l'absorption d'eau.

-Les résistances mécaniques diminuent systématiquement avec la substitution croissante de sable ordinaire par le sable de liège ou grignons d'olives. En effet, une baisse significative de la résistance à la compression et à la flexion, à tous les âges.

-La pénétration des chlorures dans les mortiers contenant de sable de liège ou des grignons d'olives examinés dans cette étude est favorable, ce qui indique son adaptation à la dégradation liée à la durabilité, et convient à une exposition extérieure.

-L'augmentation du pourcentage des déchets de liège et grignons d'olives influe positivement sur la résistance chimique des mortiers de sable dans le milieu HCl dans tous les âges.

-Dans le milieu H_2SO_4 , l'ajout de sable de liège ou grignons d'olives agit positivement sur la résistance chimique des mortiers à long terme.

Ces caractéristiques présentent un avantage pour notre cas d'étude car les bâtisses sont situées à proximité de la mer et exposées à des atmosphères agressives d'où la nécessité de l'étude des paramètres de durabilité pour ce type de matériaux de construction.

CONCLUSIONS GENERALES

Conclusions générales

En Algérie, le parc de la construction se dégrade de manière appréciable. Cette situation appelle en urgence la mise en place d'une stratégie pour une prise en charge soutenue du vieux bâti. Notre travail s'inscrit dans le même contexte.

L'enjeu de cette thèse d'interroger la possibilité de récupération des déchets de liège et des grignons d'olives dans la composition d'un éco-matériau (mortier) principalement conçu pour la réhabilitation des ouvrages et le colmatage des joints endommagés afin de répondre à des besoins de l'éco construction.

L'objectif principal est de produire un éco-mortier pour minimiser les effets des charges agissant sur la brique des anciens bâtiments, et pour améliorer les caractéristiques des mortiers. La base de cette démarche est de déterminer les performances mécaniques et la durabilité de chaque formulation qui permet de comprendre le comportement des déchets de sable de liège et grignons d'olives dans le mortier.

Dans la première phase Le bâtiment n°10 avenue Youcef Kadid bloc 4 de l'îlot 14 sis la rue Didouche Mourad (les arcades), faisant partie du patrimoine de la ville de Skikda - l'Algérie objet de notre cas d'étude, réalisé à l'époque coloniale avec les techniques de construction de l'époque, une étude de diagnostic détaillée a été effectuée avec le relevé des pathologies sur terrain et le reportage photographique.

Dans la deuxième phase L'étude présente une démarche expérimentale suivie lors de la substitution de sable ordinaire par le sable de liège ou grignons d'olives.

Nous avons mené une étude expérimentale pour comprendre l'effet de taux de substitution des sables de liège et grignons d'olives sur les propriétés des mortiers à l'état frais, leurs influences sur la densité, ouvrabilité et sur les propriétés des mortiers à l'état durci, leurs résistances mécaniques, l'absorption d'eau par immersion et par capillarité aussi, nous avons étudié l'effet de substitution des déchets de sable de liège et grignons d'olives sur la durabilité du mortier dans différents milieux acides HCL, H₂SO₄, NaCL et eau usé et la pénétration de chlorure).

L'étude détaillée qu'on a mené suivant des normes bien déterminées nous a permis d'extraire les points suivants :

- L'immeuble présente des niveaux d'humidité élevés.
- les éléments métalliques subissent un processus de corrosion parce que l'édifice est situé à la proximité de la mer.
- Les granulats légers en liège et grignons d'olives abaissent les paramètres de résistance et la densité des mortiers et diminuent l'ouvrabilité.
- Les résultats obtenus indiquent que l'incorporation des grignons d'olives dans le mortier réduit l'absorption d'eau.

-Les résistances mécaniques diminuent systématiquement avec la substitution croissante de sable ordinaire par le sable de liège ou grignons d'olives. En effet, une baisse significative de la résistance à la compression et à la flexion, à tous les âges.

-La pénétration des chlorures dans les mortiers contenant de sable de liège ou des grignons d'olives examinés dans cette étude est favorable, ce qui indique son adaptation à la dégradation liée à la durabilité, et convient à une exposition extérieure.

-L'augmentation du pourcentage des déchets de liège et grignons d'olives influe positivement sur la résistance chimique des mortiers dans le milieu HCl dans tous les âges.

-Dans le milieu H_2SO_4 , l'ajout de sable de liège ou grignons d'olives agit positivement sur la résistance chimique des mortiers à long terme.

-L'incorporation de sable de liège ou grignons d'olives mène à un gain de masse du mortier rentrant en contact avec les chlorures de sodium (NaCl) et dans les eaux usées.

D'une manière générale, Nous avons pu conclure que la valorisation des déchets de liège et grignons d'olives dans le mortier améliore certaines caractéristiques et a un impact négatif sur d'autres, comme le cas de toute sorte de substitution de sable par un déchet.

Comme perspectives, on peut citer:

- Etude de la microstructure.
- Continue à étudier l'effet de la substitution des déchets issus de liège et des grignons d'olives sur d'autres propriétés du mortier allégé, comme la conductivité thermique, la chaleur spécifique, le retrait, le gonflement, le cycle gel-dégel et la carbonatation.
- Continuer à étudier la durabilité du mortier dans d'autres milieux agressifs.
- l'utilisation d'autres taux des déchets supérieurs à 30%.
- Tester l'efficacité de ce nouveau type de mortier dans les travaux de réhabilitation.
- Etude rhéologique des différents mortiers permettrait de préciser le rôle de la viscosité et de la consistance des mortiers sur l'adhérence et sur la fissuration.
- Etude économique comparative (étude de prix) entre les mortiers avec ajout de ces sables recyclés et les mortiers ordinaires couramment utilisés.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

AFGC & CEFACOR .(2003) documents scientifiques et techniques ,Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion. P 18,19.

Agence national de l'habitat, grille d'évaluation de la dégradation de l'habitat, p 13.

Aiche, B., Cherbi, F., & Oubouzar, L. (2006). Patrimoine architectural et urbain des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles en Algérie.«Projet Euromed Héritage II. Patrimoines partagés». Revue Campus, (4), 34-45.

Aiche, B. (2002). Formes architecturales de l'époque coloniale à Alger: les prémices d'une nouvelle architecture (1830-1930). Alger lumière sur la ville. EPAU Alger.

Aidoud, A. (2023). Pathologies des Ouvrages Géotechniques, p 19.

AIT HAMOUDA, I. (2013). La conservation du patrimoine bâti en Algérie: cas de la réhabilitation d'immeubles urbains du bâti ancien à Oran (Thèse de doctorat, Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf d'Oran),p 16.

Al-Masaeid, H.R., Hamed, M.M., Khedaywi, T.S. (1994). Empirical evaluation of olive husk in asphalt cement binder and bituminous concrete. Transportation Research Record, 1436: 124-132.

Arezki, S., Chelouah, N., Tahakourt, A. (2016). The effect of the addition of ground olive stones on the physical and mechanical properties of clay bricks. Materiales de Construcción, 66(322): e082-e082.

Ayat, A. (2015). Contribution à l'élaboration et la caractérisation d'un Eco-mortier d'enduit à base de chaux et déchets de briques pour la réhabilitation du vieux bâti (Thèse de magister, Université skikda).

Bakhoun, M. M. (Ed.). (2010). Case Studies of Rehabilitation, Repair, Retrofitting, and Strengthening of Structures (Vol. 12). IABSE. p 9.

Balla El Hacene, 2022, « Il faut promouvoir le recyclage des sous-produits issus de la production de l'huile d'olive »,<https://www.lexpressquotidien.dz/2022/02/17/pr-balla-el-hacene-il-faut-promouvoir-le-recyclage-des-sous-produits-issus-de-la-production-de-lhuile-dolive/> consulter le 19/09/2022.

Barreca, F., Fichera, C.R. (2013). Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation. Energy and Buildings, 62: 507-513. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.040>.

Barnat-Hunek, D., Widomski, M.K., Szafraniec, M., Łagód, G. (2018). Impact of different binders on the roughness, adhesion strength, and other properties of mortars with expanded cork. Materials, 11(3): 364. <https://doi.org/10.3390/ma11030364>.

Barnat-Hunek, D., Siddique, R., Łagód, G. (2017). Properties of hydrophobised lightweight mortars with expanded cork. *Construction and Building Materials*, 155: 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.052>.

Baroghel-Bouny, V., Chaussadent, T., & Raharinaivo, A. (1995). Transferts combinés de l'eau et des ions chlorures: analyse physique et expérimentation sur le béton jeune. *BULLETIN-LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES*, 75-84.

Benedjma, I., & Mahimoud, A. (2021). Le rôle de l'habitant dans la sauvegarde du patrimoine bâti, de la participation à l'auto-réhabilitation (Thèse de doctorat, Université Constantine 3 Salah Boubnider, Faculté d'architecture et d'urbanisme), p 41.

Bouanane, K. N. (2008). (Le patrimoine et sa place dans les politiques urbaines algériennes. Thèse de magister, université Constantine, Algérie,

Boubakour, S., Messaoudi, K., Kherraf, L. (2022). Réhabilitation Du Théâtre Régional De La Wilaya De Skikda-Algérie. 3rd International Symposium on Construction Management and Civil Engineering (ISCMCE). university of Skikda, Algeria.

Boubakour, S., Kherraf, L., Abdelouahed, A., Messaoudi, K. (2022). Elaboration D'un Béton A Base De Sable De Déchet De Carrelage Pour Travaux De Réhabilitation (ICEE). university of Skikda, Algeria.

Bouhraoua, R. T. (2003). Situation sanitaire de quelques forêts de chêne-liège de l'Ouest algérien: étude particulière des problèmes posés par les insectes (Thèse de doctorat, University of Tlemcen).

Brás, A., Leal, M., Faria, P. (2013). Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with Cement-EPS Mortars Performance. *Construction and Building Materials*, 49: 315-327. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.006>

Casanovas Boixereu, F. X. (2012). Manuel pour la réhabilitation de la ville de Dellys, p 152.

Casanovas, X. (2007). RehabiMed, M. architecture traditionnelle méditerranéenne. II. II. Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics, p 22-23.

Cerezo, V. (2005). Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales: approche expérimentale et modélisation théorique (Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Lyon), p 26,27.

Chaki, S., Duchene, P., & Krawczak, P. (2018). Une approche multi-technique non destructive pour le monitoring de l'état de santé des matériaux composites structuraux. *Essais & Simulations*, 133, 52-56.

Chemani, H. (2013, August). Valorisation des déchets solides d'huilerie et leur adjonction dans les masses pour fabrication des tuiles de terre cuite, en vue d'améliorer leurs propriétés physico-mécaniques. In CFM 2013-21ème Congrès Français de Mécanique. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc-92400 Courbevoie.

Claude, S. (2018). Étude expérimentale et numérique de solutions basées sur les éco-matériaux pour la rénovation thermique du patrimoine bâti urbain (Thèse de doctorat, Toulouse, INSA).

Coignet, J., & Coignet, L. (2012). La maison ancienne: construction, diagnostic, interventions. Editions Eyrolles, p 109, 117.

Crédit photo D. Poineau

De Almeida, M. M. (2022). Etude de la rénovation hygrothermique de parois anciennes utilisant des matériaux biosourcés (Thèse de doctorat, INSA de Toulouse).

De Brandois, P., & Babics, F. (2006). Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie. Editions Ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'Architecture et du Patrimoine, Mission Ingénierie et références techniques, p7 <http://www.culture.gouv.fr/culture/organisation/dapa/pdf/maconnerie2006.pdf>.

Deluz, J. J. (1988). L'urbanisme et l'architecture d'Alger: aperçu critique. OPU / Mardaga, 1988, p 30.

Del Río Merino, M., Rodríguez, J.G., Martínez, F.F., Astorqui, J.S.C. (2017). Viability of using olive stones as lightweight aggregate in construction mortars. Revista de la Construcción, 16(3): 431-438.

Demertzi, M., Silva, R.P., Neto, B., Dias, A.C., Arroja, L. (2015). Cork stoppers supply chain: Potential scenarios for environmental impact reduction. Journal of Cleaner Production, 112: 1985-1994. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.072>.

Díaz Gómez, C.(2007) .Méthode Rehabimed .architecture traditionnelle méditerranéenne II. Réhabilitation Bâtiments.Barcelone ,p 195.

Document produit en commission ministérielle d'Algérie (2005), le vieux bâti dans les villes de Oran , Constantine, Annaba, Alger.

Dugué, A., Betbeder, F., Lopez, J., & Lagièrre, P. (2010). Evaluation des risques liés à l'humidité dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur de murs anciens: étude de cas. IBPSA France, 2010, 131, p1.

EL Bakkouri, A., Ezbakhe, H., Ajzoul, T., & EL Bouardi, A. (2005). Etude thermomécanique du béton allégé avec du liège et du béton allégé avec des grignons d'olive. 12èmes Journées Internationales de Thermique, 307-310.

Fajeau ,B.Truc, Y .Francou ,J.(2015).Guide de réhabilitation du bâti ancien de la ville de Troyes ,p 3 <https://www.rehabilitation-bati-ancien.fr>.

Farag, E., Alshebani, M., Elhrari, W., Klash, A., Shebani,A. (2020). Production of particleboard using olive stone waste for interior design. Journal of Building Engineering, 29: 101119.<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101119>.

Fredet, J., & Laurent, J. C. (2018). Guide du diagnostic des structures dans les bâtiments anciens. Le Moniteur,p 664.

Gil, A.M., Lopes, M.H., Pascoal Neto, C., Callaghan, P.T.(2000). An NMR microscopy study of water absorption in cork. *Journal of Materials Science*, 35: 1891-1900.
<https://doi.org/10.1023/A:1004749932170>.

Guide technique la maçonnerie de pierre (1989) , ville de Québec, p 17
https://www.ville.quebec.qc.ca/citoyens/propriete/docs/patrimoine/guide_tech06.pdf.

Hoigard, K. R. (2000). Dimension stone cladding: design, construction, evaluation, and repair (Vol. 1394). ASTM International,p 138.

Karade, S.R., Irle, M., Maher, K. (2006). Influence of granule properties and concentration on cork-cement compatibility. *Holz Als Roh-Und Werkstoff*, 64(4): 281-286.
<https://doi.org/10.1007/s00107-006-0103-2>

Kesteloot, S. IUT Bethune .cours Pathologies ,p1 <https://pdfcoffee.com/pathologie-pdf-free.html> consulter le 13/12/2023.

kherraf. L, Hebhoub.H, Abdelouahed. A, Djebien. R, & Mouats. W ,(2019),Valorisation Des Déchets De Ciment, de caoutchouc et de calcaire en tant qu'additions minérales Dans La Composition Du Béton Auto plaçant 1st International ,Congress on Advances in Geotechnical Engineering and Construction Management(ICAGECM'19) Skikda Algérie ,p793.

Kherraf, L., Hebhoub, H., Belachia, M., Abdelouehed, A., Charime, R., & Bouhebila, O. (2019)Influence of the Incorporation of Cement Kiln Dust on the Properties of Cement-Performance and Durability. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*, 10(3), 125-134.

La comité opérationnel «génie civil » de l'IDRRIM (2016)Réparation et renforcement des maçonneries réparation non structural ,FABEM 6.2 –V2,guides strees,P 19.

Limoge, C. (2016). Méthode de diagnostic à grande échelle de la vulnérabilité sismique des Monuments Historiques: Chapelles et églises baroques des hautes vallées de Savoie (Thèse de doctorat, Université Paris Saclay (COMUE)) , p 15.

Magniont, C. (2010). Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources (Thèse de doctorat, Toulouse 3) ,p37.

Martinet, G., & Quenee, B. (1999, May). Proposal for a useful methodology for the study of ancient mortars. In *International RILEM Workshop on Historic Mortars: Characteristics and Tests*, Paisley, Scotland, 12th (pp. 81-91).

Meireles, H., & Bento, R. (2013). Rehabilitation and strengthening of old masonry buildings. Report ICIST, DTC, (02), p 4.

Mertz, J. D. (1999). ICOMOS .la consolidation des mortiers dans les maçonneries ancienne les coulis d'injection p 58.

Moreira, A., António, J., Tadeu, A. (2014). Lightweight screed containing cork granules: Mechanical and hygrothermal characterization. *Cement and Concrete Composites*, 49: 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.01.012>

OPGI Skikda & CTC/CDE Annaba (2023) : rapport de diagnostic de la rue Didouche Mourad

Panesar, D.K., Shindman, B. (2012). The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork. *Cement and Concrete Composites*, 34(9): 982-992. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.003>.

Parent, T. (2015). Méthodologie de diagnostic de structures maçonnées anciennes (Thèse de doctorat, Université Toulouse 3), p 16.

Philippe Philipparie, 2021 guide pathologies des bâtiments ,La pathologie des façades: Diagnostic, réparations et prévention ,p14,73.

Production de liège : L'Algérie a récolté plus de 56.000 Qx durant la campagne 2019-2020, (2021) ,<https://www.algerie-eco.com/2021/03/22/production-de-liege-lalgerie-a-recolte-plus-de-56-000-qx-durant-la-campagne-2019-2020/> consulter le 29/11/2023.

Raftani.K., & Hassouni ,O.(2018).pathologie des bâtiments traditionnels dans le contexte spécifique des médinas marocaines guide de référence,p25,26,30.

Ransom, W. H. (1987). *Building failures: diagnosis and avoidance*. Routledge, p 55 <https://doi.org/10.4324/9780203473016>.

Rosa, M.E., Fortes, M.A. (1993). Water absorption by cork. *Wood and Fiber Science*, 339-348.

Skikda : 5.900 qx de liège produits durant la saison 2021-2022,(2022) ,<https://www.algerie-eco.com/2022/10/19/skikda-5-900-qx-de-liege-produits-durant-la-saison-2021-2022/> consulter le 29/11/2023.

Soltane, M. A., & Mimoune, M. (2022). Analyse de la vulnérabilité sismique du bâti existant (Thèse de doctorat, Université Frères Mentouri-Constantine 1) ,p 35.

Source Pixabay / CC0 Creative Commons).

Sous-direction des monuments historiques (2003). *Ouvrages en pierre de taille* p 51.

Siracusa, G., La Rosa, A.D., Siracusa, V., Trovato, M. (2001). Eco-compatible use of olive husk as filler in thermoplastic composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 9: 157-161. <https://doi.org/10.1023/A:1020465305193>.

Stylianidis, E. (2020). *Photogrammetric survey for the recording and documentation of historic buildings*. Cham, Switzerland: Springer, p 109.

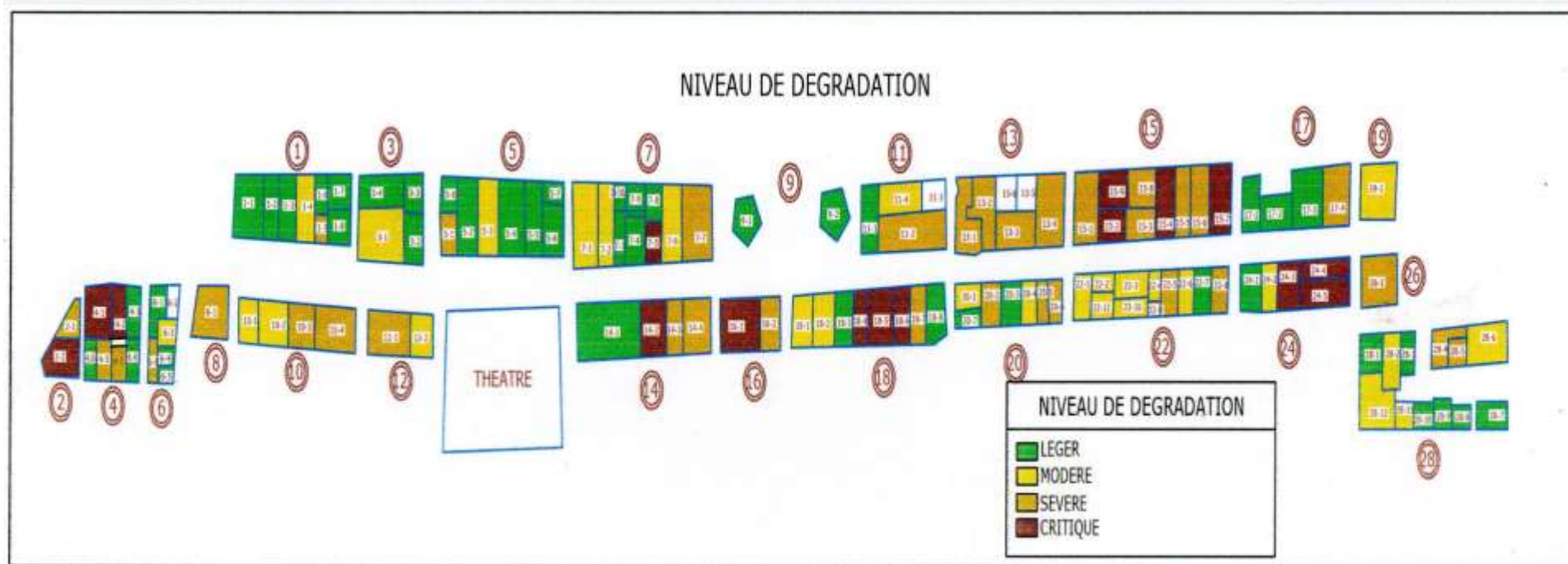
Vergès-Belmin, V. (2008). *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*. Icomos ,P7-8.

Wertz J-L., Notes de synthèse, Document FAAR-Walbiom , La lignine, p . 3 – 4, 2010.

Ziregue, A., Ferhat, A., , MARIE, Dheilily Rose, M., Queneudec ,M.(2018). L'effet de taille des granulats de liège sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton léger à base de sable calcaire. In : Séminaire International de Génie Civil sur les Matériaux cimentaires, SIGC, Oran, Algeria: Conference Paper.














ANNEXES

Annexe 1. Niveau de dégradations de la rue Didouche Mourad



Annexe 2 : légende des différentes pathologies

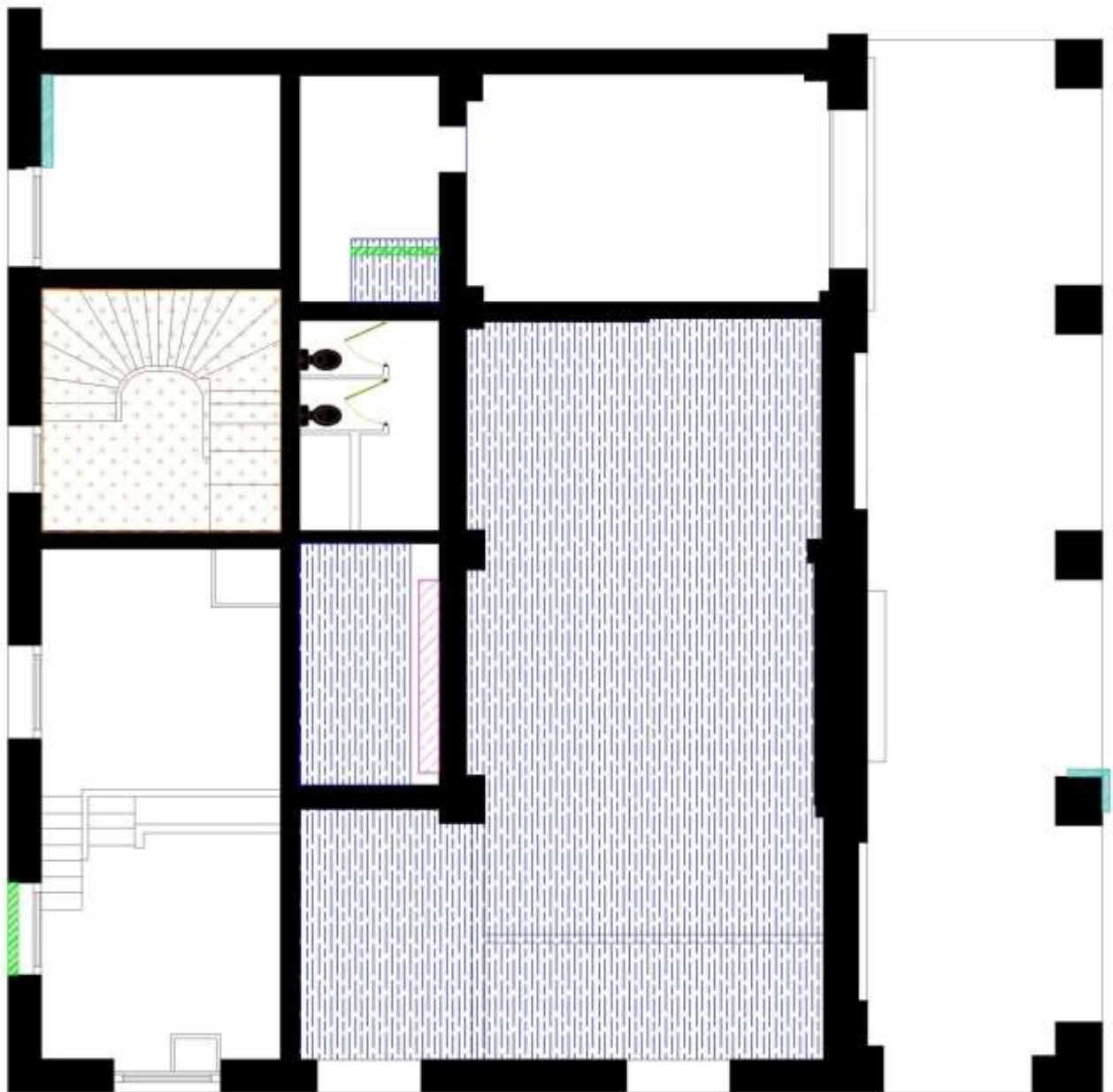
LEGENDE:

-  Décollement de l'enduit en ciment.
-  Détérioration de la cage des escaliers en bois.
-  Altération des éléments de la charpente en bois.
-  Détérioration des descentes des eaux pluviales.
-  Défaillance du système d'étanchéité.
-  Détérioration du plâtre et décollement des peintures à l'intérieur.
-  Déformation et décollement du faux plafond.
-  Fissure.
-  Traces d'infiltrations et d'humidité.
-  Corrosion.
-  Perte de masse du matériau constitutif.
-  Détérioration des revêtements.
-  Décollement de la peinture des façades à l'extérieur.

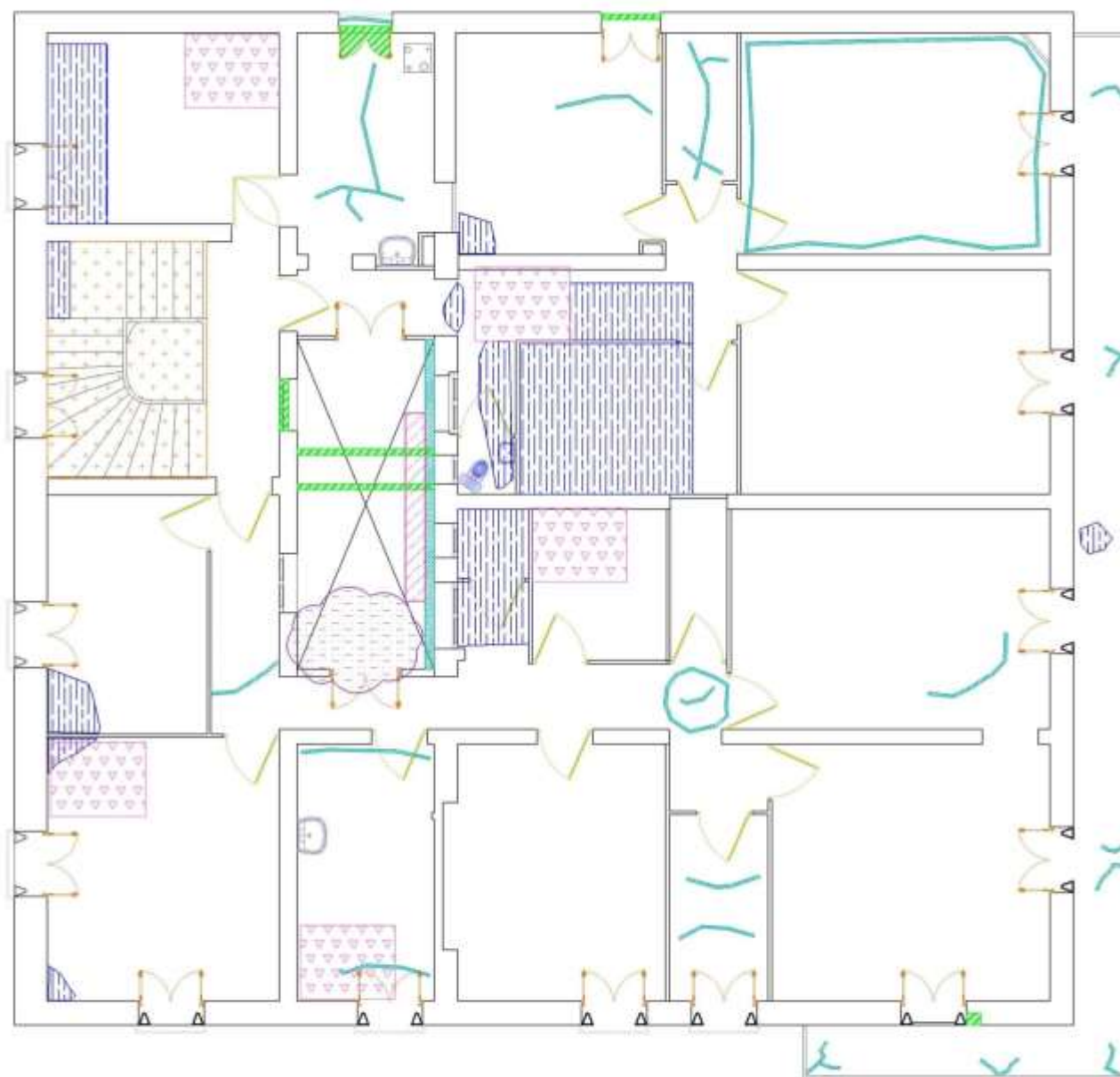
Annexe 3 : Vue en plan du RDC



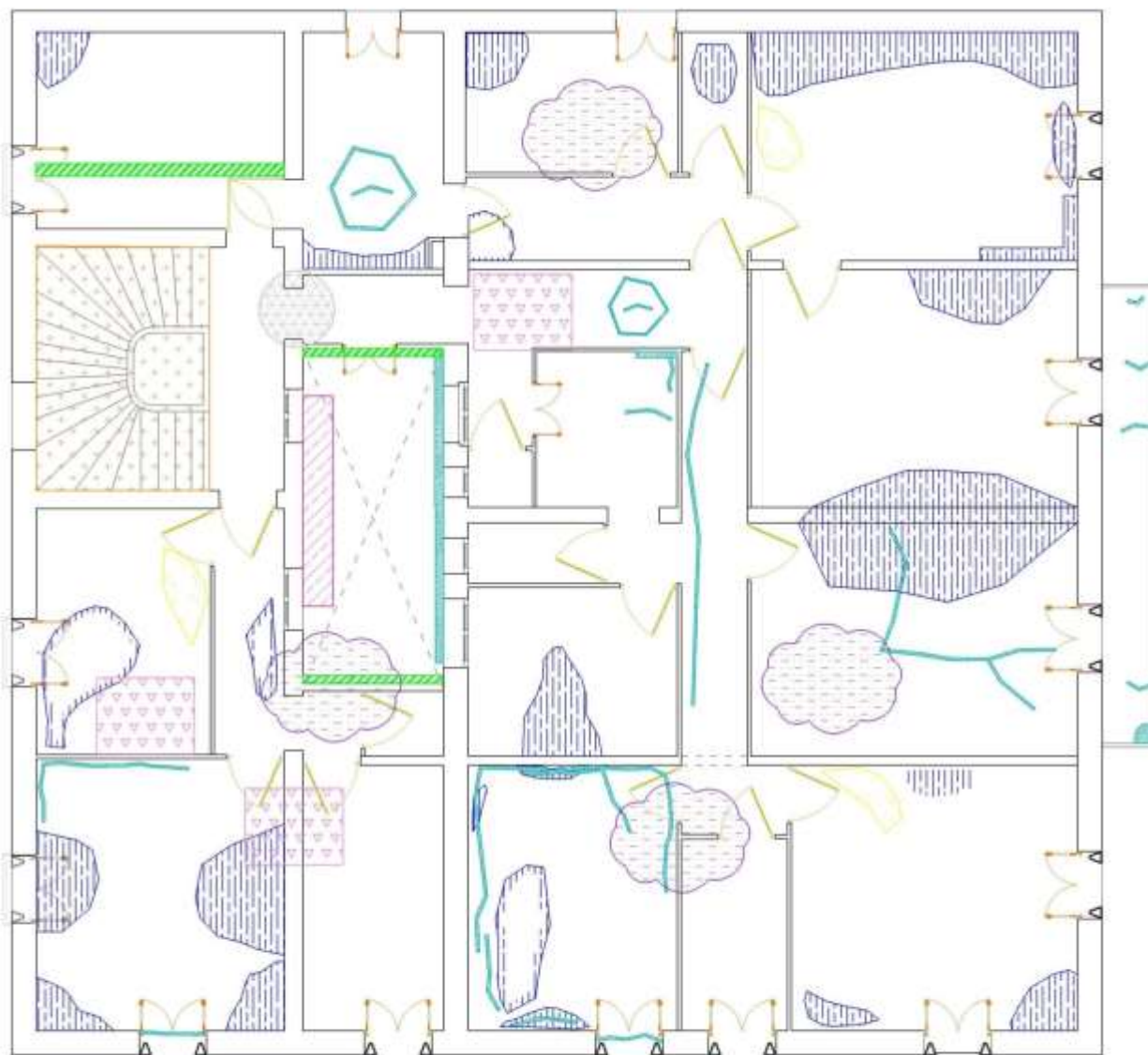
Annexe 4 : Vue en plan de la mezzanine du RDC



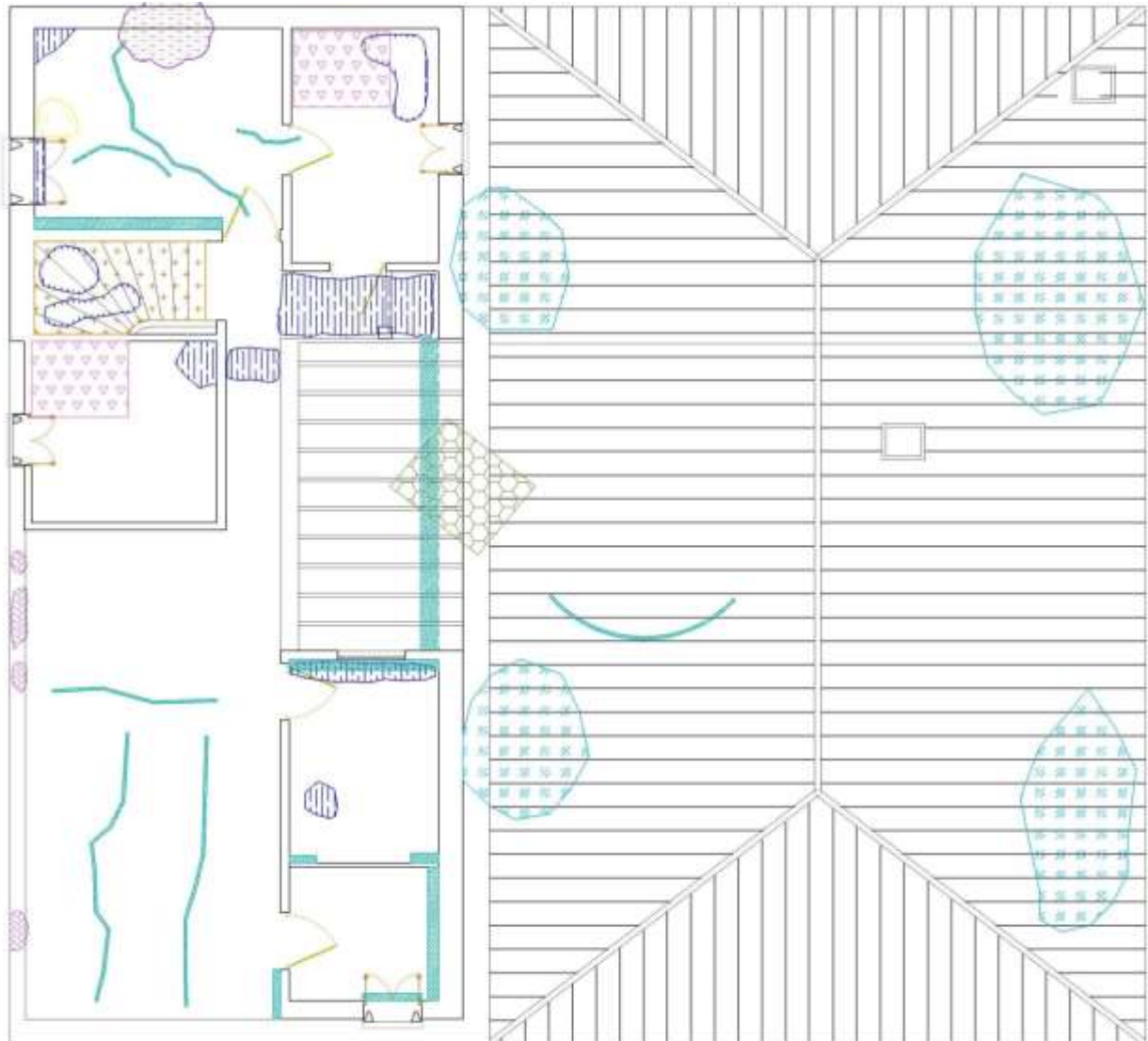
Annexe 6 : Vue en plan du 2^{eme} étage



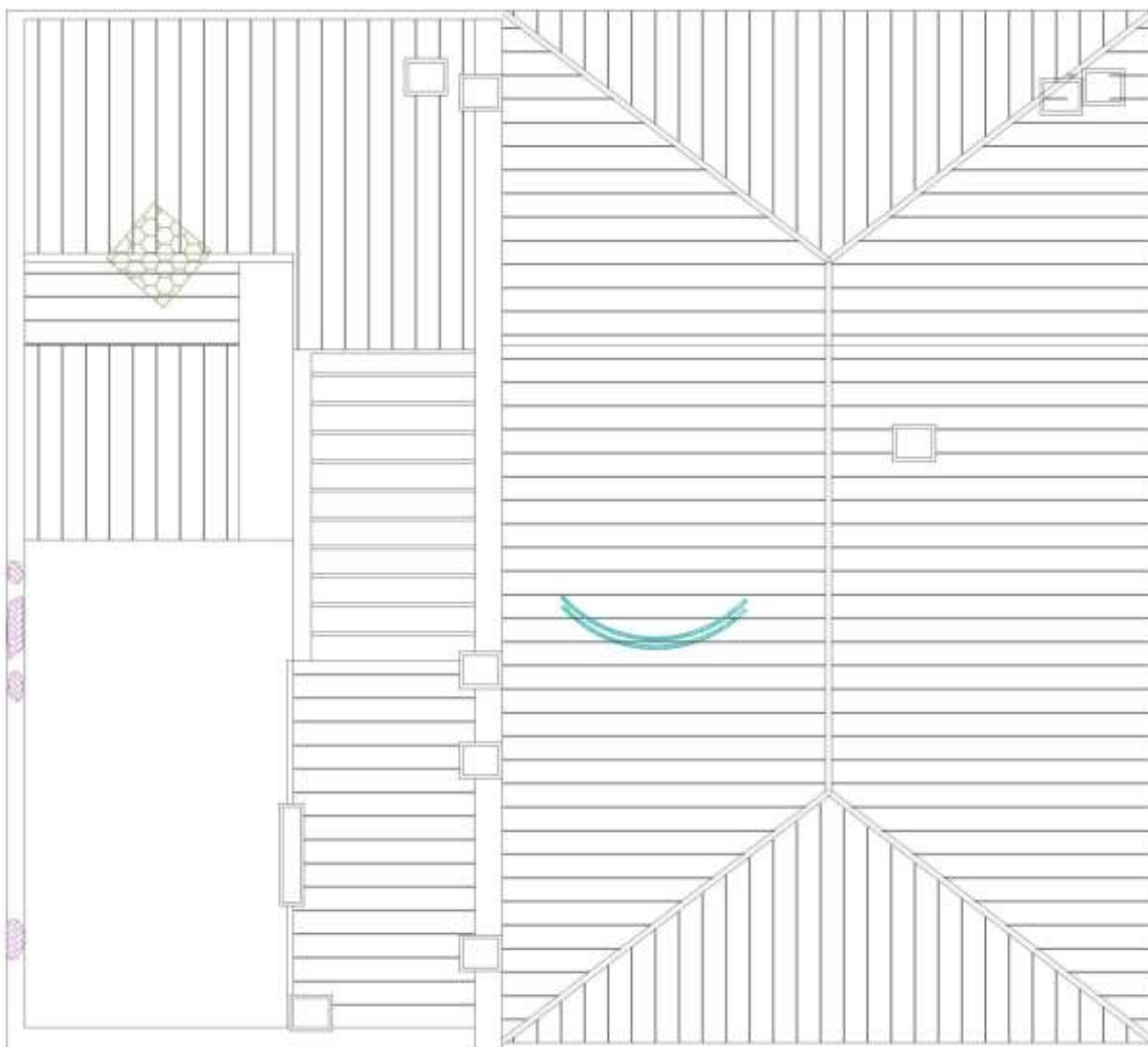
Annexe 7 : Vue en plan du 3^{eme} étage



Annexe 8 : Vue en plan terrasse



Annexe 9 : Vue en plan de la toiture



Annexe 10 : La façade principale



Annexe 11 : La façade postérieure



Annexe 12 : La façade latérale

