



Thème :

La réhabilitation énergétique des bâtiments anciens au milieu urbain

Cas d'étude « le conservatoire musical de Bejaia »

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II en Architecture

« Spécialité : Architecture » « Coloration : Technologie et environnement»

Préparé par :

ABROUCHE Salah

Sous la direction de :

Mme MOUHOUBI Nedjima

Mme Zenati Fatma Zohra	Département architecture de Bejaia	Président de jury
Mme TEBBANE Kaouther	Département architecture de Bejaia	Examinateur

Date de soutenance : **15 juin 2025**

Année Universitaire 2024 - 2025

Populaire et Démocratique Algérienne République
يَمْلِعُ لِلْعَالَمِ بِحَبْلٍ وَّيَلْعَبُهُ قَرَازُو
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur

**Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche**

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 ()
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le
plagiat*

Je soussigné,

Nom : **ABROUCHE**

Prénom : **Salah**

Matricule : **202033003697**

Spécialité et/ou Option : **Architecture**

Département : **Architecture**

Faculté : **Technologie**

Année universitaire : **2024/2025**

Et chargé de préparer un mémoire de **Master**

Intitulé : **La réhabilitation énergétique des bâtiments anciens au milieu urbain. Cas d'étude : « le conservatoire musical de Bejaia ».**

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
06/07/2023
Signature de l'intéressé
() Lu et approuvé*

(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bejaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

Résumé

Ce mémoire traite de la réhabilitation énergétique du patrimoine bâti, en conciliant préservation architecturale et l'efficacité thermique. Il cerne les enjeux culturels, environnementaux et techniques liés à cette démarche. L'analyse théorique et l'étude du Conservatoire musical de Bejaïa montrent qu'il est possible d'améliorer le confort et de réduire la consommation énergétique sans altérer l'identité patrimoniale. Des solutions adaptées sont proposées pour atteindre cet équilibre. Ce mémoire souligne ainsi le rôle clé du secteur du bâtiment dans la transition énergétique. Il plaide pour une approche durable et respectueuse du patrimoine.

Mots clé : Réhabilitation énergétique, Patrimoine, Conservatoire musical de Bejaïa, Consommation énergétique, Identité patrimoniale.

Abstract

This thesis addresses the energy rehabilitation of built heritage, combining architectural preservation and thermal efficiency. It identifies the cultural, environmental, and technical challenges associated with this approach. The theoretical analysis and study of the Bejaia Music Conservatory show that it is possible to improve comfort and reduce energy consumption without altering the heritage identity. Appropriate solutions are proposed to achieve this balance. This thesis thus highlights the key role of the building sector in the energy transition. It advocates for a sustainable approach that respects heritage.

Key words : Energy Rehabilitation, Heritage, Bejaia Music Conservatory, Energy Consumption, Heritage Identity.

ملخص

تتناول هذه الأطروحة إعادة تأهيل التراث المعماري من حيث الطاقة، من خلال الجمع بين الحفاظ على العمارة والكفاءة الحرارية. وتحدد التحديات الثقافية والبيئية والتكنولوجية المرتبطة بهذا النهج. ويُظهر التحليل النظري والدراسة لمعهد بجية للموسيقى إمكانية تحسين الراحة وتقليل استهلاك الطاقة دون المساس بالهوية التراثية. وتقترح حلول مناسبة لتحقيق هذا التوازن. وسلط هذه الأطروحة الضوء على الدور الرئيسي لقطاع البناء في التحول الطاقي، وتدعو إلى اتباع نهج مستدام يحترم التراث.

الكلمات المفتاحية: إعادة تأهيل التراث، التراث، معهد بجية للموسيقى، استهلاك الطاقة، الهوية التراثية.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mon parcours académique. À ma famille, pour leur amour incommensurable et leur patience sans faille, ainsi qu'à mes amis, qui m'ont offert leur soutien moral et leur amitié précieuse.

Je souhaite également exprimer ma gratitude à mes enseignants et mon encadrant de recherche pour leur guidance éclairée, leur savoir-faire et leur disponibilité. Leur expertise et leurs conseils ont été essentiels dans la réalisation de ce travail.

Enfin, cette œuvre est dédiée à ceux qui, par leur force et leur persévérance, m'ont inspiré à donner le meilleur de moi-même chaque jour.

Remerciement

*Je tiens d'abord à remercier dieu le tout puissant qui nous a donné la force et la patience
d'accomplir ce modeste travail.*

*Je voudrais dans un premier temps remercier mon encadrant Madame MOUHOUBI
Nedjima, pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont
contribué à alimenter ma réflexion et pour leur soutien et encouragement.*

*Mes remerciements sont destinés également aux membres de jury qui ont accepté et qui vont
évaluer ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier tous les enseignants du département d'architecture de Bejaia, ainsi que le
personnel de la direction de la culture, gérant du bureau d'études BEN SENOUN.*

*Enfin je présente mes vifs remerciements à tous ceux et celles qui nous ont aidé de près ou de
loin à l'élaboration de ce modeste travail.*

Liste des figures

FIGURE 1: LE QUARTIER DE VESTERBRO (TERP.F, 2008)	10
FIGURE 2 : QUARTIER DE VESTERBRO APRES REHABILITATION (J.V.NIELSEN ET K.CHRISTENSEN, 2008).	10
FIGURE 3 : QUARTIER DE VESTERBRO APRES REHABILITATION (J.V.NIELSEN ET K.CHRISTENSEN, 2008).	10
FIGURE 4 : MAUSOLEE DE SIDI FINKHAL AVANT LA RESTAURATION (ISSUU.COM, 2025).	103
FIGURE 5 : MAUSOLEE DE SIDI FINKHAL APRES LA RESTAURATION (ISSUU.COM, 2025).	10
FIGURE 6 : L'OPERA DE LYON AVANT LA REHABILITATION. (ISSUU.COM, 2025).....	104
FIGURE 7 : L'OPERA DE LYON APRES LA REHABILITATION (ISSUU.COM, 2025).	104
FIGURE 8 : L'INTERIEUR D'UNE MAISON AVANT ET APRES LA RENOVATION (WWW.EXTENSION-RENOVATION.F, 2025).	10
FIGURE 9 : CROWN PLAZZA QUAKER AVANT ET APRES LA RECONVERSION (ISSUU.COM, 2025).	10
FIGURE 10 : LE PALAIS BEYICAL KOBET ENNHAS (ISSUU.COM, 2025).	10
FIGURE 11 : LE PRINCIPE DE LA RESTITUTION (ISSUU.COM, 2025).	10
FIGURE 12 : EXEMPLE DE RESTITUTION EN 3D DES SOUKS D'ALEP (ISSUU.COM, 2025).	10
FIGURE 13 : LES RUINES DE LA VILLE DE SBEITLA A L'ETAT ACTUEL ET LEURS RESTITUTIONS EN 3 DIMENSIONS (ISSUU.COM, 2025) ...	10
FIGURE 14 : SCHEMA D'EXTENSION JUXTAPOSEE (ISSUU.COM, 2025).	21
FIGURE 15 : MAISON DE CULTURE DE MORNEG D'ARKE ARCHITECTS (ISSUU.COM, 2025).	21
FIGURE 16 : SCHEMA D'EXTENSION EN HAUTEUR (ISSUU.COM, 2025).	22
FIGURE 17 : MARGARETENSTRA DE JOSEF WEICHENBERGER ARCHITECTS + PARTNER (ISSUU.COM, 2025)....	22
FIGURE 18 : SCHEMA D'EXTENSION A L'INTERIEUR (ISSUU.COM, 2025).	23
FIGURE 19 : FIGURE 19 : MUSEE CHAMPOILLION DE ALAIN MOATTI (ISSUU.COM, 2025).....	23
FIGURE 20 : SCHEMA D'EXTENSION SUR L'ENVELOPPE (ISSUU.COM, 2025).....	23
FIGURE 21 : MUSEE DE CULTURE CONTEMPORAINE-BARCELONE (ISSUU.COM, 2025).	23
FIGURE 22 : LES TYPES DE CHAUFFAGE AU SOL (WWW.WARMUPFRANCE.FR, 2025).	30
FIGURE 23 : LA GESTION TECHNIQUE DU BATIMENT (GTB) (FR.SCRIBD.COM, 2025).....	31
FIGURE 24 : LA FONCTION DES PANNEAUX AEROVOLTAIQUES (WWW.OTIVO.FR, 2025).	31
FIGURE 25 : LES AVANTAGES DE L'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LES BATIMENTS (FASTERCAPITAL.COM, 2025).	34
FIGURE 26 : LES STRATEGIES D'HIVER (HTTPS://WWW.BIFFSA.COM/E-LEARNING).	49
FIGURE 27 : LES STRATEGIES D'ETE (HTTPS://WWW.BIFFSA.COM/E-LEARNING).	50
FIGURE 28 : OBJECTIFS DE LA REHABILITATION ENERGETIQUE (AUTEUR 2025).....	51
FIGURE 29 : ETAT INITIAL DU RESIDENCE LE MONT-BLANC (SGORBINI, 2013, p. 4).....	60
FIGURE 30 : SITUATION DE LA RESIDENCE LE MONT BLANC PAR RAPPORT A LA FRANCE (GOOGLE MAP).....	61
FIGURE 31 : LES DEUX IMMEUBLES DE LA RESIDENCE MONT BLANC (GOOGLE MAP, TRAITEE PAR AUTEUR, 2025).	61
FIGURE 32 : PLAN DE MASSE (SGORBINI, 2013, p. 6).....	61
FIGURE 33 : ENVIRONNEMENT IMMEDIAT DE LA RESIDENCE « MONT-BLANC » (GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR AUTEUR, 2025).	62
FIGURE 34 : LE RELIEF DE LA RESIDENCE « MONT-BLANC » (GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR AUTEUR, 2025).	62
FIGURE 35 : COUPE MONTRANT LA STRUCTURE DE L'IMMEUBLE DE LA RESIDENCE « MONT-BLANC » (SGORBINI, 2013, p. 4)	62
FIGURE 36 : L'ENSOLEILLEMENT DE L'IMMEUBLE (GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR AUTEUR, 2025).....	63
FIGURE 37 : LES VENTS DOMINANTS QUE SUBIS LE BATIMENT (GOOGLE EARTH, TRAITEE PAR AUTEUR, 2025).....	63
FIGURE 38 : PRECIPITATIONS PAR MOIS POUR LA VILLE DE LYON (METEOFRANCE, 2024).....	64
FIGURE 39 : ENSOLEILLEMENT PAR MOIS POUR LA VILLE DE LYON (METEOFRANCE, 2024).....	64
FIGURE 40 : ROSE DES VENTS DE LYON (METEOFRANCE, 2024).....	64
FIGURE 41 : TRANSFERT D'HUMIDITE (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).....	65
FIGURE 42 : EFFET DE PAROI FROIDE (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).	65
FIGURE 43 : PONT THERMIQUE (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).....	65
FIGURE 44 : ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTERIEUR (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).....	66
FIGURE 45 : DEFAUT D'ETANCHEITE AU NIVEAU DES FENETRES (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).....	67
FIGURE 46 : PONT THERMIQUE AU NIVEAU DES FENETRES (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).....	67
FIGURE 47 : CONDENSATION SUR LES VITRAGES (SGORBINI, 2013, p. 02).....	67
FIGURE 48 : VUE SUR LES FENETRES APRES REHABILITATION ENERGETIQUE (SGORBINI, 2013, p. 21).....	67
FIGURE 49 : COUPE D'UNE FENETRE MONTRANT LE VOLET ROULANT ORIENTABLE ET LE VITRAGE PERFORMANT (SGORBINI, 2013, p. 21).	67

FIGURE 50 : SCHEMA DE PONT THERMIQUE AU NIVEAU D'UNE PORTE D'ENTREE (HTTPS://URLZ.FR/URTL , REPRIS PAR AUTEUR 2025).	68
FIGURE 51 : SCHEMA DE SEUIL SUISSE POUR LUTTER CONTRE LES PONTS THERMIQUES (HTTPS://URLZ.FR/URTL , REPRIS PAR AUTEUR 2025).....	68
FIGURE 52 : PERCEPTION DES SOUCHES MAÇONNEES QUI CONSTELLENT LA TERRASSE (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).....	68
FIGURE 53 : ETAT APRES REHABILITATION ENERGETIQUE (SGORBINI, 2013), (REPRIS PAR AUTEUR 2025).	69
FIGURE 54 : LES SEPT SEQUENCES DU BATIMENT (SGORBINI, 2013, p. 19).....	70
FIGURE 55 : VUE SUR LA FAÇADE OUEST AVANT REHABILITATION ENERGETIQUE (SGORBINI, 2013, p. 05).	70
FIGURE 56 : VUE SUR L'IMMEUBLE DE LA RESIDENCE LE MONT-BLANC APRES REHABILITATION ENERGETIQUE (SGORBINI, 2013, p. 24).	71
FIGURE 57 : ETIQUETTE ENERGETIQUE DU BATIMENT AVANT REHABILITATION ENERGETIQUE (SGORBINI, 2013, p. 08).	72
FIGURE 58 : ETIQUETTE ENERGETIQUE DU BATIMENT APRES REHABILITATION ENERGETIQUE (SGORBINI, 2013, p. 27).	72
FIGURE 59 : LE CONSERVATOIRE MUSICAL DE BEJAIA (WWW.SKYSCRAPER CITY.COM , 2021).	75
FIGURE 60 : FISSURATION DE L'AILE DROITE (HTTP://RABAHNACERI.UNBLOG.FR/FILES/2012/03/TRIBUNAL.JPG)	77
FIGURE 61 : LE CONSERVATOIRE MUSICAL DE BEJAIA AVANT LA REHABILITATION (ALGERIE.NIOOZ.FR).	77
FIGURE 62 : L'EX TRIBUNAL DE BEJAIA EN COURS DE REHABILITATION (FACEBOOK : BEJAIA INFO).	77
FIGURE 63 : PLAN DE MASSE DU CONSERVATOIRE MUSICAL DE BEJAIA. (FOND : RELEVE DE LA DIRECTION DE LA CULTURE. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	78
FIGURE 64 : PLAN DE SOUS-SOL (FOND : PLAN DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	79
FIGURE 65 : VUE D'INTERIEUR DE SOUS-SOL (FACEBOOK : BEJAIA INFO).....	79
FIGURE 66 : PLAN RDC (FOND : PLAN DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	80
FIGURE 67 : VUE D'INTERIEUR DE RDC (FACEBOOK : BEJAIA INFO).	80
FIGURE 68 : PLAN D'ETAGE (FOND : PLAN DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	81
FIGURE 69 : VUE D'INTERIEUR DE L'ETAGE (FACEBOOK : BEJAIA INFO).	81
FIGURE 70 : PLAN DE SOUS-SOL AVEC COTATIONS (FOND : PLAN DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	82
FIGURE 71 : PLAN DE RDC AVEC COTATIONS (FOND : PLAN DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	82
FIGURE 72 : PLAN DE L'ETAGE AVEC COTATIONS (FOND : PLAN DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.). ..	83
FIGURE 73 : LA PARTIE QUI A ETE REHABILITE APRES EFFONDREE (FOND : PLAN DE BUREAU D'ETUDE BEN SAHNOUN. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	83
FIGURE 74 : FAÇADE PRINCIPALE (FOND : FAÇADE DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	84
FIGURE 75 : LECTURE DES FAÇADES (FOND : FAÇADE DE LA DIRECTION DE L'URBANISME. TRAITEMENT : AUTEUR 2025.).	84
FIGURE 76 : LES DIFFERENTS MATERIAUX DE CONSTRUCTION (MEMOIRE DE MASTER, 2015).	85
FIGURE 77 : LA 3D DU L'EX TRIBUNAL DE LA VIELLE VILLE DE BEJAIA (FACEBOOK : BEJAIA INFO).....	86
FIGURE 78 : COUPE SUR LE BATIMENT MONTRANT LES DIFFERENTS ELEMENTS DE CONSTRUCTION (FOND : BET MR MAHINDAD. TRAITEMENT : AUTEUR2025.).	87
FIGURE 79 : DETAIL SCHEMATIQUE DES MATERIAUX COMPOSANT LE PLANCHER (TECNARIA, TRAITE PAR L'AUTEUR 2025).	87
FIGURE 80 : DETAIL SCHEMATIQUE DES MATERIAUX COMPOSANT LE PLANCHER BAS (L.M. MIQUEL, REPRIS PAR L'AUTEUR, 2025)..	88
FIGURE 81 : DETAIL SCHEMATIQUE DES MATERIAUX COMPOSANT LE PLANCHER INTERMEDIAIRES (L.M. MIQUEL, REPRIS PAR L'AUTEUR, 2025).....	88
FIGURE 82 : DETAIL SCHEMATIQUE DES MATERIAUX COMPOSANT LES PAROIS INTERIEURS (L'AUTEUR 2025).	88
FIGURE 83 : DETAIL SCHEMATIQUE DES MATERIAUX COMPOSANT LES PAROIS EXTERIEURS EN PIERRE (BLOG-PATRIMOINE-FACADES.COM/MURS-MURS/).	89
FIGURE 84 : DETAIL SCHEMATIQUE DES MATERIAUX COMPOSANT LES PAROIS EXTERIEURS (L'AUTEUR 2025).	89
FIGURE 85 : HISTOGRAMME DE TEMPERATURE MAXIMALE MENSUELLE (ONM, 2014).	89
FIGURE 86 : HEURES D'ENSOLEILLEMENT MENSUELLES (ONM, 2014).	90
FIGURE 87 : QUANTITE DE PRECIPITATIONS PAR MOIS (ONM, 2014).QUARTIER DE VESTERBRO APRES REHABILITATION (J.V. NIELSEN ET K.CHRISTENSEN, 2008).	90
FIGURE 88 : ROSE DES VENTS DE BEJAIA (LEM, 2007).....	90
FIGURE 89 : HISTOGRAMME DE LA VARIATION DE L'HUMIDE PAR MOIS (TEMPERATURE WEATHER, 2009).	91
FIGURE 90 : EXTRAIT DU RAPPORT (L'AUTEUR 2025)	91
FIGURE 91 : TEMPERATURE INTERIEURE DE BATIMENT (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).	92

FIGURE 92 : EXTRAIT DU RAPPORT (L'AUTEUR 2025).....	92
FIGURE 93 : EXTRAIT DU RAPPORT (L'AUTEUR 2025).	93
FIGURE 94 : APPORTS SOLAIRES (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).	93
FIGURE 95 : LUMIERE NATURELLE FLJ (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).....	94
FIGURE 96 : CARTE D'ECLAIRAGE (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).	94
FIGURE 97 : REPARTITION DES TEMPERATURES (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).	95
FIGURE 98 : LES STORES DES FENETRES A L'INTERIEUR (WWW.STORESISOTRA.FR, 2019).	96
FIGURE 99 : LA FONCTION DE TRIPLE VITRAGE (WWW.COLUMBIASKYLIGHTS.COM, 2025).	97
FIGURE 100 : LES FENETRES VENTILEES (WWW.EGOKIEFER.CH, 2025).....	97
FIGURE 101 : ISOLATION D'UN BATI ANCIEN (DOCS.INFOENERGIE38.ORG, 2022).....	98
FIGURE 102 : ISOLATION DES MURS EN DOUBLE MIRETTE AVEC DE POLYSTYRENE (WWW.POLYCHIMIE.BE, 2021).	98
FIGURE 103 : TEMPERATURE INTERIEURE DE BATIMENT (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).	99
FIGURE 104 : EXTRAIT DU RAPPORT (L'AUTEUR 2025)	100
FIGURE 105 : REPARTITION DES TEMPERATURES EN OCCUPATION (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).	101
FIGURE 106 : ETIQUETTE ENERGETIQUE DU BATIMENT AVANT REHABILITATION ENERGETIQUE (L'AUTEUR 2025).....	102
FIGURE 107 : ETIQUETTE ENERGETIQUE DU BATIMENT APRES REHABILITATION ENERGETIQUE (L'AUTEUR 2025).....	102

Liste des tableaux

TABLEAU 1: LES DIFFÉRENCES PRINCIPALES ENTRE LA RESTAURATION, LA REHABILITATION ET LA RENOVATION (AUTEUR 2025).	16
TABLEAU 2: RESUME COMPARATIF (AUTEUR 2025).....	38
TABLEAU 3: SOLUTIONS D'INTERVENTION PASSIVE (RAPPORT DE SOLUTIONS ET TECHNIQUES POUR UN BATIMENT EFFICIENT - CONCEPTION D'UNE MAISON PERFORMANTE. (2022)).	45
TABLEAU 4: FONCTIONNEMENT DE CHAUFFAGE ET CLIMATISATION PASSIVE (RAPPORT DE SOLUTIONS ET TECHNIQUES POUR UN BATIMENT EFFICIENT - CONCEPTION D'UNE MAISON PERFORMANTE. (2022)).....	46
TABLEAU 5: SOLUTIONS D'INTERVENTIONS ACTIVES (RAPPORT DE SOLUTIONS ET TECHNIQUES POUR UN BATIMENT EFFICIENT - CONCEPTION D'UNE MAISON PERFORMANTE. (2022)).	47
TABLEAU 6: SYNTHESE DE LA REPARTITION DES TEMPERATURES (EXTRAIT DU RAPPORT, L'AUTEUR 2025).	95
TABLEAU 7: LA COMPARAISON DE CONFORT THERMIQUE (L'AUTEUR 2025).	100
TABLEAU 8: LA COMPARAISON DES BESOINS ENERGETIQUES (L'AUTEUR 2025).	100
TABLEAU 9: COMPARAISON DE LA REPARTITION DES TEMPERATURES EN OCCUPATION (L'AUTEUR 2025).	101

SOMMAIRE

Introduction	1
La problématique.....	2
Hypothèses	4
Objectif.....	4
Méthodologie de recherche	5
La structure de mémoire	6

Chapitre I : Le Patrimoine

Introduction :	8
I.1. Le patrimoine : définition et compréhension	8
I.2. Le patrimoine et l'identité architecturale :	9
I.3. Le patrimoine : un principe actif du développement durable :	9
I.4. La notion de valeur dans le patrimoine :	11
I.5. La catégorisation du patrimoine :	11
I.5.1. Les catégories selon l'UNESCO.....	11
I.5.2. Les formes de patrimoine bâti	12
I.6. Les méthodes d'intervention sur le patrimoine :	12
I.6.1. La restauration :	13
I.6.2. La réhabilitation :	13
I.6.3. La rénovation :	15
I.6.4. La reconversion :	17
I.6.5. La réaffectation :	17
I.6.6. La restitution :	18
I.7. Les contraintes d'intervention sur le patrimoine :	20
I.7.1. Légales et réglementaire :	20
I.7.2. Historiques et culturelles :	20
I.7.3. Architecturales :.....	21
I.7.4. Environnementales :	21
I.7.5. Sociales et touristiques :.....	21
I.7.6. Technique :.....	21
I.7.7. Financières :	21
I.8. Les stratégies d'interventions :.....	22
I.8.1. Extension accolée :	22

I.8.2. Extension en hauteur :	22
I.8.3. Intervention sur l'intérieur :	23
I.8.4. Intervention sur l'enveloppe :	24
Conclusion :	25

Chapitre II : L'efficacité énergétique et son application dans les bâtiments anciens

Introduction	27
□.1. L'énergie :	27
II.1.1. Définition :	27
II.1.2. Les différentes énergies :	28
II.2. L'efficacité énergétique :	28
II.2.1. Définition :	28
II.2.2. Démarche et étapes de l'efficacité énergétique :	29
II.2.3. Les facteurs de l'efficacité énergétique :	30
II.2.4. Les innovations technologiques favorisant l'efficacité énergétique :	31
II.2.4.1. Dalles chauffantes pour maîtriser sa facture de chauffage :	31
II.2.4.2. Les avancées de la Gestion Technique du Bâtiment (GTB) :	32
II.2.4.3. Panneaux aérovoltaïques pour optimiser les microgrids :	33
II.2.4.4. Passez à l'éclairage à LED pour faire des économies :	33
II.2.5. Les avantages de l'efficacité énergétique :	33
II.2.5.1. Amélioration de la qualité de l'air intérieur :	34
II.2.5.2. Empreinte carbone réduite :	34
II.2.5.3. Confort amélioré des occupants :	34
II.2.5.4. Économies de coûts :	34
II.2.5.5. Conformité aux réglementations :	35
II.2.5.6. Augmentation de la valeur foncière :	35
II.3. Classification des bâtiments à efficacités énergétiques :	36
II.3.1. Bâtiments efficace (BBC) « basse énergie » :	36
II.3.2. Bâtiments très efficace « très basse énergie » :	36
II.3.3. Bâtiments à énergie positive (BEZ) « zéro énergie » :	37
II.4. Les clés de l'efficacité énergétique dans le bâtiment :	38
II.4.1. La conception architecturale des bâtiments :	38
II.4.2. L'isolation thermique des parois (murs et toiture) :	38
II.4.3. Le choix des matériaux :	38
II.4.4. L'utilisation de vitrage de bonne efficacité optique et thermique :	39
II.4.5. Énergies renouvelables :	39

II.4.6. L'utilisation de systèmes d'éclairage efficace dans les bâtiments :	39
II.5. Les stratégies pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments anciens :	39
II.5.1. Diagnostic énergétique :	39
II.5.2. Isolation efficace :	40
II.5.3. Systèmes de chauffage modernes :	40
II.5.4. Fenêtres et vitrages adaptés :	41
II.5.5. Gestion intelligente de l'énergie :	41
Conclusion	42

Chapitre III : Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

Introduction	44
III.1. Les solutions techniques pour la réhabilitation énergétique :	44
III.1.1. Solutions d'intervention passive :	44
III.1.2. Solutions d'intervention active :	46
III.2. Le confort thermique dans les bâtiments historiques :	48
III.2.1. Confort hivernal :	48
III.2.2. Confort estival :	49
III.3. Les objectifs de la réhabilitation énergétique :	50
III.3.1. Réduction des consommations énergétiques :	51
III.3.2. Diminution des émissions de CO₂ :	51
III.3.3. Confort des occupants :	51
III.3.4. Préservation du bâtiment :	52
III.4. Enjeux et critères de la réhabilitation énergétique :	52
III.4.1. Enjeux environnementaux	52
III.4.2. Enjeux économiques	52
III.4.3. Enjeux sociaux	52
III.4.4. Défis techniques	53
III.4.5. Contraintes réglementaires et normatives	53
III.5. Les Défis de la Réhabilitation Énergétique des Bâtiments Patrimoniaux :	54
III.5.1. Compatibilité des matériaux et techniques :	54
III.5.1.1. Définition et enjeux :	54
III.5.1.2. Les caractéristiques spécifiques du bâti ancien :	55
III.5.1.3. Les risques d'incompatibilité :	55
III.5.1.4. Principes d'intervention compatibles :	55
III.5.1.5. Compatibilité esthétique et réversibilité :	56
III.5.2. Conservation des éléments architecturaux :	56

III.5.2.1. Définition :	57
III.5.2.2. Nature des éléments architecturaux à conserver :	57
III.5.2.3. Luttes entre conservation architecturale et réhabilitation énergétique :	58
III.5.2.4. Approches méthodologiques et techniques :	58
III.5.3. Contraintes réglementaires :	59
III.5.3.1. Cadre juridique de la protection du patrimoine culturel :	59
III.5.3.2. Réglementation en matière d'urbanisme et de construction :	59
III.5.3.3. Procédures administratives et autorisations nécessaires :	59
III.6. Exemple d'application des solutions proposées :	60
III.6.1. La situation :	60
III.6.2. L'orientation :	61
III.6.3. Environnement immédiat :	61
III.6.4. Système constructif :	62
III.6.5. Ensoleillement :	62
III.6.6. Données climatiques :	63
III.6.7. Les enjeux :	64
III.6.8. Problèmes et solutions :	64
III.6.9. Les problèmes rencontrés lors des travaux de réhabilitation	69
III.6.10. Etat après réhabilitation énergétique (résultat)	69
Conclusion	73

Chapitre IV: Cas d'étude « le conservatoire musical de Bejaia »

Introduction	75
IV.1. Fiche technique :	75
IV.2. Description de l'édifice :	76
IV.3. Etude architecturale :	77
IV.3.1. Composition d'ensemble :	77
IV.3.2. Plan et distribution intérieure :	78
IV.3.2.1. L'entre sol :	79
IV.3.2.2. Le rez-de-chaussée :	79
IV.3.2.3. L'étage :	80
IV.3.2.4. Les plans avec cotations :	82
IV.3.2.5. La partie qui a été réhabilité après effondrement :	83
IV.3.3. Composition de la façade :	84
IV.3.4. Matériaux et système constructif :	85
IV.4. Aperçu sur le climat de la ville de Bejaia :	89

IV.4.1. La température :	89
IV.4.2. Ensoleillement :	90
IV.4.3. Les précipitations :	90
IV.4.4. Le régime des vents :	90
IV.4.5. L'humidité :	91
IV.5. Simulation :	91
IV.5.1. Confort thermique (Analyse des températures) :	91
IV.5.2. Besoins énergétiques (Chauffage et Refroidissement) :	92
IV.5.3. Analyse de l'enveloppe thermique :	93
IV.5.4. Lumière naturelle (FLJ) :	94
IV.5.5. La répartition des températures :	95
IV.5.6. Les points positifs et les problèmes majeurs :	96
IV.5.7. Recommandations techniques :	96
IV.6. La comparaison des simulations avant et après l'application des solutions proposées :	99
IV.6.1. Confort thermique (Analyse des températures) :	99
IV.6.2. Besoins énergétiques (Chauffage et Refroidissement) :	100
IV.6.3. La répartition des températures en occupation :	101
Conclusion	102
Conclusion générale	104
Références Bibliographiques	106

Introduction

Le patrimoine est un témoignage essentiel de l'histoire, de la culture et de l'identité des sociétés humaines. Transmis de génération en génération, le patrimoine englobe des aspects tangibles comme les édifices, les lieux d'intérêt archéologique, et les œuvres d'art, mais aussi des éléments intangibles tels que les coutumes, les langues et les compétences artisanales.

Le patrimoine a une valeur fondamentale, parce qu'il peut renforcer le sentiment d'identité, encourager la diversité culturelle et inspirer l'avenir.

Sa préservation repose sur une responsabilité collective impliquant plusieurs entités : les institutions nationales, les autorités locales, des organisations internationales telles que l'UNESCO et les communautés locales. Tous ont un rôle crucial pour assurer la transmission de ce patrimoine aux générations à venir, en mettant en œuvre des efforts de conservation, de réhabilitation, de restauration et de sensibilisation à son importance.

Aujourd'hui ; le patrimoine constitue un vecteur de progrès tant recherché. Quelques soit l'étendue de la divergence des finalités de protection du patrimoine (touristiques, économiques...), les valeurs du patrimoine se révèlent énormément nombreux et riches. Au fil de l'histoire, ces dernières sont enrichies grâce à plusieurs typologies d'interventions sur le patrimoine (notamment les sites et monuments historiques). Par la suite, l'avènement de l'architecture contemporaine a porté avec elle une curiosité d'estimer la possibilité de valorisation du patrimoine par cette nouvelle architecture, qui présente aussi le fruit d'un progrès tant désiré, mais souvent réglementée par la législation lors de son interaction avec les monuments et sites historiques (AITOUALI.H, ALLALI.C, & BARKA.K, 2017, p. 14).

Les pays ayant une forte conscience patrimoniale, comme la France, l'Italie et la Grèce, ont mis en place des politiques dédiées, incluant des lois de protection, des programmes éducatifs et des actions de sensibilisation. Ces initiatives montrent que la valorisation du patrimoine ne dépend pas uniquement de son passé, mais aussi de la volonté de le préserver pour l'avenir.

La préservation du patrimoine passe nécessairement par des opérations de réhabilitation adaptées, qui permettent de concilier les enjeux contemporains, notamment architecturaux et énergétiques avec la nécessité de conserver l'authenticité et la valeur patrimoniale des bâtiments

historiques et aussi d'optimisé l'efficacité énergétique dans les bâtiments historiques (Choay, 1996, p. 272).

L'application de cette démarche se fait dans notre cas d'étude à savoir l'ancien tribunal de la vieille ville de Bejaia comme un représentatif de ce type de patrimoine présentant des enjeux divers.

La problématique

La réhabilitation énergétique des bâtiments anciens en milieu urbain est un enjeu majeur dans le contexte actuel de transition écologique.

Les centres urbains souvent riches en patrimoine architectural, contiennent de nombreux édifices construits bien avant l'avènement des normes thermiques modernes.

Ces bâtiments bien symboliques sur le plan historique et culturel, présentent souvent des performances énergétiques insuffisantes, ce qui mène à des consommations élevées.

Les bâtiments historiques, bien que riches en valeur culturelle, sociale et architecturale, présentent souvent d'efficacités énergétiques insuffisantes par rapport aux normes actuelles. Cela s'explique par le fait qu'ils ont été conçus dans un contexte technologique, climatique et social très différent de celui d'aujourd'hui.

À l'époque de leur construction, les bâtiments répondaient aux besoins et modes de vie anciens :

- Les systèmes de chauffage étaient locaux (poêles à bois, cheminées), ciblant uniquement certaines pièces.
- L'isolation thermique n'était pas une priorité : on comptait davantage sur la masse des murs en pierre ou en terre crue, qui offrent une bonne inertie thermique, mais n'empêchent pas les déperditions de chaleur.
- Les ouvertures (portes, fenêtres) n'étaient pas étanches, car la ventilation naturelle était un moyen de prévenir l'humidité et d'assurer le renouvellement de l'air.

Ex : -Un hôtel particulier du XVIII^e siècle à Paris avec murs en pierre massive et fenêtres simples vitrages peut consommer jusqu'à 300 kWh/m²/an, contre moins de 50 kWh/m²/an pour un bâtiment neuf RT 2012.

- Des bâtiments historiques comme le Château de Chambord ou le Palais des Papes à Avignon ont nécessité des études spécifiques pour intégrer discrètement des dispositifs de chauffage ou d'éclairage à faible consommation, sans altérer leur structure.

L'objectif de la réhabilitation énergétique est d'ajuster entre la préservation du patrimoine et amélioration de l'efficacité thermique, acoustique et environnementale des bâtiments.

Cela implique de relever plusieurs défis, notamment l'intégration des technologies modernes sans altérer le caractère historique, de respecter les contraintes réglementaires, et l'adaptation des solutions aux besoins spécifiques de chaque bâtiment.

Dans un contexte urbain dense ces interventions nécessitent également une réflexion globale sur la qualité de vie, les dynamiques sociales, et les réactions avec l'environnement bâti.

Dans un contexte urbain dense, réhabiliter un bâtiment s'inscrit dans une démarche de développement durable, et valorisation du patrimoine : prendre en compte la qualité de vie (confort, santé, coûts), les dynamiques sociales (préserver la mixité) et les relations avec l'environnement bâti (respect du tissu urbain, intégration harmonieuse). Chaque décision technique a donc un impact global, tant sur le bâtiment que sur le quartier, ce qui exige une approche cohérente, respectueuse et durable.

La réhabilitation énergétique ne se limite pas à une simple mise aux normes énergétiques, mais s'inscrit dans une démarche plus large de développement durable et de valorisation du patrimoine.

Afin de garantir la pérennité du patrimoine architectural, il est crucial de préserver les caractéristiques authentiques des bâtiments tout en les adaptant aux enjeux énergétiques contemporains.

Dans ce cadre, nous nous interrogerons sur la problématique suivante : **Dans quelle mesure est-il possible d'optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments historiques en milieu urbain tout en préservant leur authenticité architecturale et leur valeur patrimoniale ?**

A travers ce travail de recherche nous allons essayer de répondre aussi aux questionnements secondaires suivants :

1. Comment optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments anciens tout en assurant un meilleur confort thermique du bâtiment ?
2. Comment appliquer les solutions de confort thermique de bâtiments notamment l'ex tribunal de Bejaia tout en respectant son identité patrimoniale et architecturale ?

Hypothèses

1. L'intégration des technologies modernes telles que le double vitrage, une isolation efficace et les énergies renouvelables, peut contribuer à améliorer considérablement l'efficacité énergétique des bâtiments anciens tout en préservant leur valeur patrimoniale.
2. Adopter une approche distincte entre les interventions sur l'enveloppe extérieure et l'aménagement intérieur permet de combiner la préservation de patrimoine et l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Objectif

L'objectif principal de cette recherche est d'identifier les meilleures stratégies pour améliorer le confort thermique et l'efficacité énergétique des bâtiments anciens, tout en garantissant leur préservation architecturale.

Les objectifs détaillés visés dans notre travail sont les suivants :

1. Définir l'efficacité énergétique et quelle-est sa relation avec le patrimoine
2. Comme améliorer l'efficacité énergétique
3. Analyse des cas d'études
4. Elaborer une stratégie pour l'amélioration du l'efficacité énergétique des bâtiments anciens par le biais de la réhabilitation énergétique.
5. Intégrer l'efficacité énergétiques et préservation de l'identité patrimoniale dans les bâtiments anciens.

Méthodologie de recherche

La thématique de recherche que nous traitons étant la réhabilitation énergétique, plus précisément la réhabilitation énergétique des bâtiments anciens, il est nécessaire d'adapter une démarche méthodologique. Afin de répondre à ces objectifs. Cette démarche s'appuie sur :

- a. **Recherche documentaire approfondie** : qui s'articule autour d'étude des ouvrages, articles scientifiques et rapports sur l'efficacité énergétique et la préservation du patrimoine. Ajouter à cela, une analyse des politiques publiques en matière de réhabilitation énergétique.
- b. **Analyse comparative de cas d'étude** : qui repose sur identification de plusieurs bâtiments anciens ayant fait l'objet d'une réhabilitation énergétique, suivie d'une étude approfondie des stratégies mises en œuvre et des résultats obtenus en termes de l'efficacité énergétique, de conservation patrimoniale.
- c. **Étude de terrain** : qui s'appuie sur des visites sur site et relevés des bâtiments sélectionnés, complétée par des entretiens avec des architectes pour mieux comprendre leurs attentes, leurs contraintes techniques et les défis dans le cadre de la réhabilitation énergétique du patrimoine bâti.
- d. **Simulation énergétique** : qui est l'utilisation de logiciels de simulation thermique (Archiwizard) pour modéliser l'impact des différentes solutions énergétiques.
- e. **Synthèse et recommandations** : qui aboutit à l'élaboration d'une stratégie d'optimisation énergétique spécifiquement adaptée aux bâtiments anciens, accompagnée de propositions des solutions innovantes concilier les exigences de préservation patrimoniale avec les objectifs de l'efficacité énergétique.

La structure de mémoire

Mon mémoire s'articule en trois grandes parties complémentaires, structurées pour passer de la théorie à la pratique :

- **Première Partie : Cadre théorique**

Cette première partie pose les bases conceptuelles et scientifiques du travail. Elle comprend deux chapitres :

Le patrimoine : définition, valeur, enjeux de conservation et types d'interventions (réhabilitation, restauration, etc.).

L'efficacité énergétique : principes, bénéfices environnementaux, techniques d'amélioration (passives et actives), et innovations.

Cette partie m'a permis de comprendre les interactions entre préservation architecturale et performance énergétique.

- **Deuxième Partie : Problématique et solutions techniques**

Elle explore les spécificités de l'efficacité énergétique dans les bâtiments anciens, en abordant :

Les techniques adaptées au bâti traditionnel, Les contraintes réglementaires et patrimoniales, Les solutions possibles, classées en passives et actives, Et les défis liés à la compatibilité des matériaux et au respect de l'esthétique historique.

- **Troisième Partie : Cas d'étude (Le Conservatoire musical de Bejaïa)**

Cette dernière partie est l'application concrète des notions étudiées. Elle comprend :

Une analyse architecturale complète du bâtiment (plans, matériaux, état initial), Une étude climatique locale (ensoleillement, températures, humidité), Une simulation thermique dynamique (avant/après), Et enfin, des propositions de réhabilitation énergétique réalisistes qui tiennent compte des contraintes patrimoniales.

Chapitre I :

Le patrimoine

Introduction :

Le patrimoine est une notion complexe qui a amplement évoluée dans le temps. Il recouvre un ensemble de biens et savoirs représentatifs de valeurs, qui font l'objet d'une reconnaissance d'une sauvegarde dont l'objectif est la transmission aux générations futures, pour cela nous avons consacré toute une partie qui vise à approfondir nos connaissances sur le terme du patrimoine et les concepts liés à ce dernier, les interventions qui ont objectif sa sauvegarde et sa protection, les méthodes de connaissance du patrimoine et sa mise en valeur. L'application de ces concepts et méthodes s'effectue dans le cadre du patrimoine monumental, qui constitue le cœur de notre problématique de recherche. Ce type de patrimoine soulève des enjeux spécifiques en matière de préservation, de réhabilitation et de mise en valeur, en raison de sa valeur historique, architecturale et culturelle. Cette partie s'attache également à identifier les contraintes majeures liées aux interventions sur le patrimoine, qu'elles soient techniques, réglementaires, esthétiques ou environnementales. Elle permet de dégager un ensemble de stratégies d'intervention adaptées, visant à concilier respect de l'authenticité du bâti et exigences contemporaines, notamment en matière d'efficacité énergétique.

I.1. Le patrimoine : définition et compréhension

Le Patrimoine est une notion polysémique, qui peut se définir dans un premier sens comme un rapport de légitimité familiale par voie de l'héritage matériel transmis de père ou mère au fils, d'une génération à une autre. Mais dans son sens urbain et architectural, le patrimoine est défini comme l'ensemble des éléments bâtis ou aménagés qui, par leur valeur historique, artistique, culturelle ou technique, méritent d'être conservés, restaurés ou mis en valeur. Il comprend les monuments symboliques, les quartiers anciens, les infrastructures historiques, ainsi que les savoir-faire liés à leur construction ou leur usage. Cette conception élargie du patrimoine dépasse la simple conservation d'objets du passé : elle intègre la dimension vivante des lieux, leur usage actuel et leur capacité à s'adapter aux enjeux contemporains.

« L'expression qui désigne un fond destiné à la jouissance d'une communauté élargie aux dimensions planétaires et constitue par l'accumulation continue d'une diversité d'objets qui rassemble leur commune appartenance au passé : œuvres et chefs d'œuvres des beaux-arts et des arts appliqués, travaux et produits de tous les savoirs faire des humains » (Choay.F, 1992, p. 09).

Ainsi, le patrimoine représente un héritage qui agence un lien entre les générations passées, présentes et futures (Ibid.p10). Il est un facteur d'identité et de mémoire collective pour un pays,

une région ou une communauté, à une époque donnée. Il se traduit principalement par leurs cadres bâtis, leurs modes de vie et leurs traditions.

I.2. Le patrimoine et l'identité architecturale :

L'identité collective trouve donc son origine dans les formes identitaires communautaires où les sentiments d'appartenance sont particulièrement forts (culture, nation, ethnies...) et les formes identitaires sociétaires qui renvoient à des collectifs plus éphémères, à des liens sociaux provisoires (famille, groupe de pairs, travail, religion...). L'individu appartient ainsi de manière simultanée ou successive, à des groupes sociaux qui lui fournissent des ressources d'identification multiples (M. Castra, 2012, p73).

Et selon Jacques Berque « *L'identité : c'est l'inquiétude d'un pays qui cherche à se construire dans la modernité, sans dépouiller son identité* » (In Kentouche.N, 2008, p. 41)

En effet, la notion d'identité est ainsi fondamentalement liée à celle du patrimoine. Par conséquent l'identité patrimoniale d'un pays est celle qui tire sa source du passé auquel elle est redevable de son identité (Ibid.p41), ce passé qu'elle invoque à travers son patrimoine culturel qu'elle se doit de conserver car il représente une empreinte de son héritage, et témoin d'une civilisation, et pris comme repère d'authenticité culturelle et architecturale représentatives de ses origines qui a besoin de garder sa fonction de livre d'histoire pour les prochaines générations (Ibid.p41).

I.3. Le patrimoine : un principe actif du développement durable :

Le concept de patrimoine porte en lui-même cette vision de translation et de continuité dans le temps. La nécessité de protéger et transmettre ce patrimoine et cet héritage est aujourd'hui une nécessité primordiale qui exprime une volonté de mieux intégrer la dimension temporelle et de mieux articuler le passé, le présent et le futur de notre société dans une logique de transmission et de solidarité entre les générations (P. Pelletier, 2010, p 16.).

En effet, La consommation de matières premières non renouvelables en s'en tenant au minimum, est l'un des préceptes fondamentaux du développement durable afin de préserver

leurs pérennités. La préservation du patrimoine des monuments et sites de valeur ainsi que leur transmission aux générations futures vise elle aussi le long terme (CRMS, 2004, p. 03).

Puisque patrimoine et développement durable s'ancrent dans une même perspective, ils apparaissent aujourd'hui comme deux concepts mutuellement acceptables, liés à un objectif commun dont les limites se déplacent sans cesse au fil du temps. Sont enracinés dans le même point de vue, ils apparaissent aujourd'hui comme deux concepts mutuellement acceptables qui sont liés à un objectif commun dont les limites en constante évolution au fil du temps.

Exemple :

Le quartier de Vesterbro Le quartier de Vesterbro est un quartier de Copenhague situé au nord-est du centre-ville historique de la capitale du Danemark, il a été construit entre 1880 et 1910. La réhabilitation urbaine de Vesterbro a débuté en 1991, englobant à la fois la mise aux normes et la réhabilitation des bâtiments, l'embellissement des cours et jardins, le réaménagement de l'espace urbain et des voiries, et l'émergence de nouvelles institutions publiques et culturelles. Les quatre piliers du développement durable, en termes sociaux, environnementaux, économiques ou culturels, ont également été intégrés au programme de la réhabilitation (Terp.F, 2008, pp. 01-02).



Figure 1: Le quartier de Vesterbro (Terp.F, 2008).



Figure 2 : Quartier de Vesterbro après réhabilitation (J.V.Nielsen et K.Christensen, 2008).



Figure 3 : Quartier de Vesterbro après réhabilitation (J.V.Nielsen et K.Christensen, 2008).

I.4. La notion de valeur dans le patrimoine :

Le patrimoine ne se définit pas uniquement par son ancienneté, mais par les valeurs que les sociétés lui attribuent. Ces valeurs qu'elles soient rares, identitaires, écologiques ou économiques donnent sens à sa conservation. Elles traduisent les liens entre un bien et son importance culturelle, sociale ou environnementale, et permettent de justifier la préservation dans le temps, ces valeurs sont (Tricaud.P, 2010, pp. 25-31):

Valeur de rareté : C'est la seule valeur qui n'est pas liée aux qualités propres de l'objet. Elle est fondée sur la comparaison de l'objet avec d'autres de même nature. Cette comparaison définit la rareté de l'objet ou son caractère exceptionnel.

Valeur écologique : C'est celle qui déchaîne aujourd'hui le plus de passions. Elle désigne l'étude du milieu naturel, qu'il soit vivant ou minéral.

Valeur d'identité : elle concerne les liens de la société avec le bien. Elle peut englober les éléments suivants : religion, symbolique, politique, patriotisme et nationalisme.

Valeur économique : tout bien est assujetti à une valeur économique, selon la loi de l'offre et de la demande, elle-même liée à l'utilité et la rareté. La valeur économique est l'une des valeurs la plus objectivement quantifiable (en unités monétaires).

I.5. La catégorisation du patrimoine :

I.5.1. Les catégories selon l'UNESCO

Selon la convention adoptée par l'UNESCO le 16 novembre 1972 concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel, le patrimoine culturel se présente comme suit (KASMI, 2022, p. 11) :

Les monuments : œuvres architecturales qui ont une valeur du point de vue de l'histoire, de l'art ou de la science.

Les ensembles : groupes de constructions isolées ou réunies, qui en raison de leur architecture, de leur unité, ou de leur intégration dans le paysage, ont une valeur du point de vue l'histoire, de l'art ou de la science.

Les sites : œuvres de l'homme ou œuvres combinées de l'homme et de la nature, remarquables par leur intérêt historique, archéologique, artistique, scientifique, social ou technique.

I.5.2. Les formes de patrimoine bâti

La notion de patrimoine, longtemps réservée au patrimoine monumental a été progressivement étendue à des édifices de toutes catégories et de toutes époques. En effet, sous la multiplication récente des formes patrimoniales, le champ du patrimoine bâti s'élargit et se diversifie de plus en plus pour englober différentes formes. Nous pouvons citer (Ibd.p12) :

Patrimoine religieux : souvent de grande valeur artistique, il englobe les : mosquée, églises, temples, etc.

Patrimoine militaire : forts et fortifications, tours, murailles, etc

Patrimoine non-religieux ou civil (non-militaire) : palais, gares, cinémas, hôtels, etc.

Patrimoine industriel : né en Grande-Bretagne dès les années 1940, le terme de patrimoine industriel évoque l'héritage industriel désaffecté : usines, ateliers, entrepôts, etc.

Patrimoine archéologique : qu'il soit des époques antiques ou médiévales, il englobe aussi les sites enfouis ou partiellement mis à jour.

Patrimoine rural : s'opposant au patrimoine urbain, il se situe généralement en dehors des agglomérations et peu englober aussi bien le patrimoine vernaculaire, religieux, paysager, etc.

Patrimoine urbain : s'opposant au patrimoine monumental, il se définit par l'assemblage de plusieurs constructions : quartiers anciens, centres historiques, abords de monuments, vieux tissus, etc.

I.6. Les méthodes d'intervention sur le patrimoine :

Entre la fin du siècle précédent et le début du nouveau siècle, nous pouvons trouver des malentendus lexicaux dans la terminologie doctrinale ainsi que dans les directives d'application de la restauration, de la réhabilitation et de la rénovation (Sayah, 2025).

Pour mieux comprendre les différences entre ces interventions, il serait utile de revoir certaines définitions :

I.6.1. La restauration :

Il s'agit d'une intervention dont l'objectif principal est de restituer l'édifice dans son état d'origine. Pour cela, on priviliege l'usage des mêmes matériaux et techniques de construction qu'à l'époque de sa réalisation. C'est une démarche rigoureuse, généralement réservée aux monuments historiques importants, afin de préserver leur authenticité et de les transmettre aux générations futures tels qu'ils étaient à l'origine, tout en valorisant ce patrimoine culturel.

Aujourd'hui, la charte de Venise a exprimé une définition spécifique de la restauration : « *est une opération qui doit garder un caractère exceptionnel. Elle a pour but de conserver et de révéler les valeurs esthétiques et historiques du monument et se fonde sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques. Elle s'arrête là où commence l'hypothèse ; au-delà, tout complément reconnu indispensable relève de la composition architecturale et portera la marque de notre temps* » (ICOMOS, 1964).

Nous citons l'exemple du projet de restauration du Mausolée de Sidi Finkhal à Kerkennah Sfax, effectué par l'INP en 2008. Nous pouvons facilement remarquer que les matériaux utilisés pour restaurer l'extérieur sont les mêmes que l'original mais avec quelques modifications.



Figure 4 : Mausolée de Sidi Finkhal avant la restauration
(issuu.com, 2025).



Figure 5 : Mausolée de Sidi Finkhal après la restauration
(issuu.com, 2025).

I.6.2. La réhabilitation :

La réhabilitation a pour but la préservation du caractère historique des constructions comme celui des monuments ou d'autres constructions remarquables et de qualité architecturale intéressante. En même temps, il s'agit d'équiper la construction réhabilitée en éléments de confort aux normes actuelles, le but étant de moderniser sans dénaturer le caractère ancien de la bâtie. Ainsi, parfois, la façade extérieure est préservée, alors que l'organisation intérieure est entièrement revue et modernisée dans le but d'une reconversion fonctionnelle et d'un changement d'activité.

Elle comprend les transformations physiques nécessaires à un usage adéquat d'une construction inoccupée ou mal utilisée. « *La réhabilitation devrait toujours impliquer une réutilisation aussi proche que possible de la fonction originale pour faire en sorte que l'intervention et la perte de valeur culturelle soient aussi réduites que possible, ce qui s'inscrit également dans la logique économique* » (Feilden & Jokilehto, 1996).

Elle s'agit donc de réaménager un bâtiment en gardant l'aspect global et en y améliorant l'intérieur. La réhabilitation suppose le respect du caractère architectural et l'authenticité du bâtiment. Autrement dit, il s'agit de conserver une partie d'un ouvrage et en retravailler plus ou moins profondément une autre.

Nous citons le projet de réhabilitation de l'Opéra de Lyon, opéré par l'architecte Jean NOUVEL. Ce dernier a laissé la façade de l'édifice intacte, puis a ajouté un volume en haut en verre, qui se distingue facilement de l'ancien. Cette action se traduit par la greffe d'un volume contemporain dans l'existant.



Figure 6 : L'Opéra de Lyon avant la réhabilitation.
(issuu.com, 2025).

Figure 7 : L'Opéra de Lyon après la réhabilitation
(issuu.com, 2025).

on trouve plusieurs réhabilitations :

- La réhabilitation architecturale et urbaine :

Vise à conserver et restaurer les qualités esthétiques, historiques et symboliques du bâti, tout en intégrant le bâtiment dans son tissu urbain (openarchive.icomos.org, 2005).

- La réhabilitation fonctionnelle :

Adapte le bâtiment à de nouveaux usages (ex : transformer un ancien couvent en musée ou logements) sans dénaturer sa structure ou son identité (Jean-Yves, 2003).

- La réhabilitation environnementale :

Intègre des pratiques durables pour limiter l'impact écologique : gestion des eaux, biodiversité, matériaux naturels... etc (librairie.ademe.fr, 2018).

- La réhabilitation énergétique :

Améliore l'efficacité énergétique du bâtiment (isolation, chauffage, ventilation, etc.) tout en respectant ses caractéristiques patrimoniales (Tom, 2022, p. 160).

- La réhabilitation technique :

Met à niveau les équipements techniques (électricité, plomberie, sécurité incendie...) pour garantir confort et sécurité selon les normes actuelles (Lévy, 2000).

I.6.3. La rénovation :

Rénover est l'action la plus courante qui touche tous les types de construction dégradés et jugés parfois comme démodés. Cela mène à des opérations de démolition totale ou partielle pour reconstruire du neuf sur l'ancien (BENABDALLAH, 2018, p. 24).

Donc La rénovation veut dire remise à neuf d'un édifice. C'est-à-dire si l'objet patrimonial ne permet plus d'être conservé ou restauré nous nous retrouvons ainsi face à deux choix, la démolition totale de ce dernier ; ou la rénovation qui veut dire un changement total avec de nouveaux matériaux et construction une nouvelle technique de différente de l'original. Néanmoins la démolition reste la dernière des solutions.

Nous citons l'exemple de la rénovation d'une maison

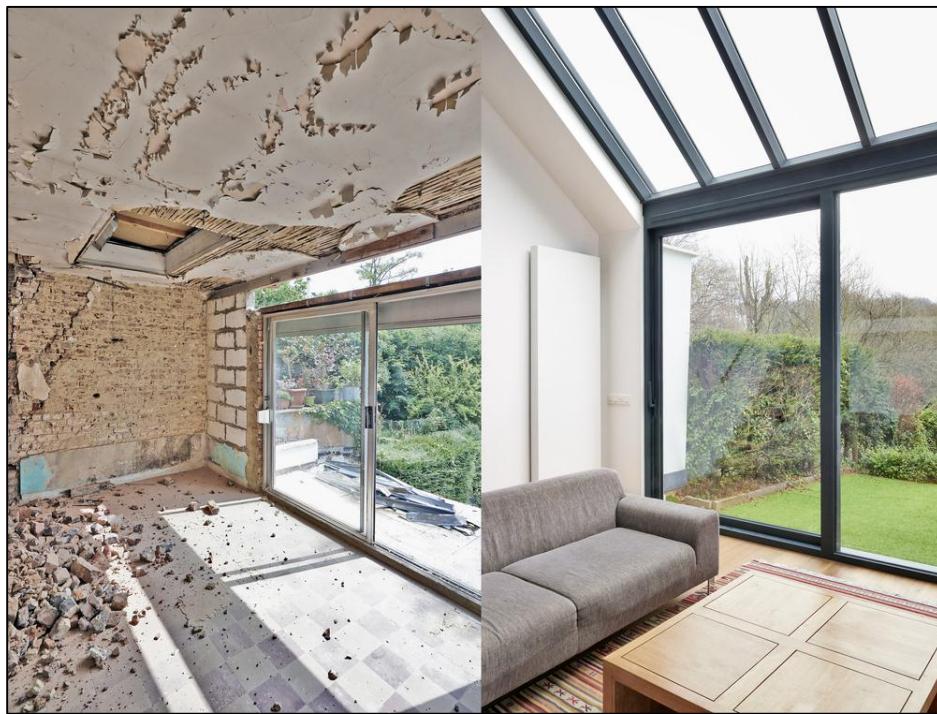


Figure 8 : L'intérieur d'une maison avant et après la rénovation
(www.extension-renovation.fr, 2025).

Tableau 1: les différences principales entre la restauration, la réhabilitation et la rénovation (Auteur 2025).

Aspect	La restauration	La réhabilitation	La rénovation
Objectif	Retrouver l'état d'origine ou une époque de référence précise	Adapter un bâtiment ancien à un usage contemporain, sans en dénaturer l'esprit	Remettre à neuf ou moderniser un bâtiment, sans forcément respecter son caractère historique
Approche	Historique et conservatrice	Mi-historique, Mi-moderne	Moderne et fonctionnelle
Matériaux utilisés	Traditionnels, d'origine	Mixtes (ancien + moderne)	Modernes
Respect du patrimoine	Priorité absolue	Respect partiel	Pas une priorité

Interventions	Techniques et matériaux d'époque	Mélange d'éléments anciens et modernes	Modernisation sans contrainte
----------------------	----------------------------------	--	-------------------------------

I.6.4. La reconversion :

La reconversion veut généralement dire le changement ; changer de fonction de domaine, etc...

C'est une « action de reconvertis, d'adapter une activité à de nouveaux besoins, ou de se reconvertis, de changer de travail, d'activité ».

En effet, nous s'orientons vers la reconversion lorsqu'un édifice n'est plus en mesure d'assurer sa fonction initiale. La reconversion doit mettre ainsi en valeur l'existant ainsi que le projet.

Nous citons l'exemple du Crown plaza Quaker Square qui était auparavant un silo et qui s'est transformé après la reconversion en un hôtel de luxe. En effet l'intérieur a été totalement modifié pour répondre aux normes des hôtels d'aujourd'hui. Quant à l'extérieur, des ouvertures ont été ajouté tout en gardant le volume et l'allure initiale de l'édifice (*Ibid.*).



Figure 9 : Crown Plaza Quaker avant et après la reconversion (issuu.com, 2025).

I.6.5. La réaffectation :

La réaffectation consiste une injection d'une nouvelle fonction à un bâtiment dont son ancienne fonction ne répond plus aux exigences modernes.

En effet, il existe plusieurs anciens bâtiments qui ont été bâti pour remplir une fonction spécifique et qui avec le temps se retrouve dépassée. Par conséquent nous obtenons un espace vide sans âme.

La réaffectation demeure une solution très utile pour certains cas comme mentionné dans la Conférence d'Athènes qui recommande de « *maintenir l'occupation des monuments qui assure la continuité de leur vie en les consacrant toutefois à des affectations qui respectent leur caractère historique ou artistique* ».

Nous citons l'exemple du palais Kobet Ennas, autrefois propriété beylicale. Son aspect actuel date de sa construction vers la seconde moitié du XVIIIème siècle et qui désormais une salle de conférence et fêtes tout en gardant la même architecture (Ibid.).



Figure 10 : Le palais Beylical Kobet Ennas (issuu.com, 2025).

I.6.6. La restitution :

La restitution d'un édifice est désormais la meilleure méthode pour reproduire ce qui a été détruit à cause des guerres ou encore à cause des catastrophes naturelles. D'ailleurs, cette méthode est le fruit de l'évolution de la technologie qui a permis d'avoir des logiciels capables de modéliser en trois dimensions des édifices patrimoniaux (Sayah, 2025).

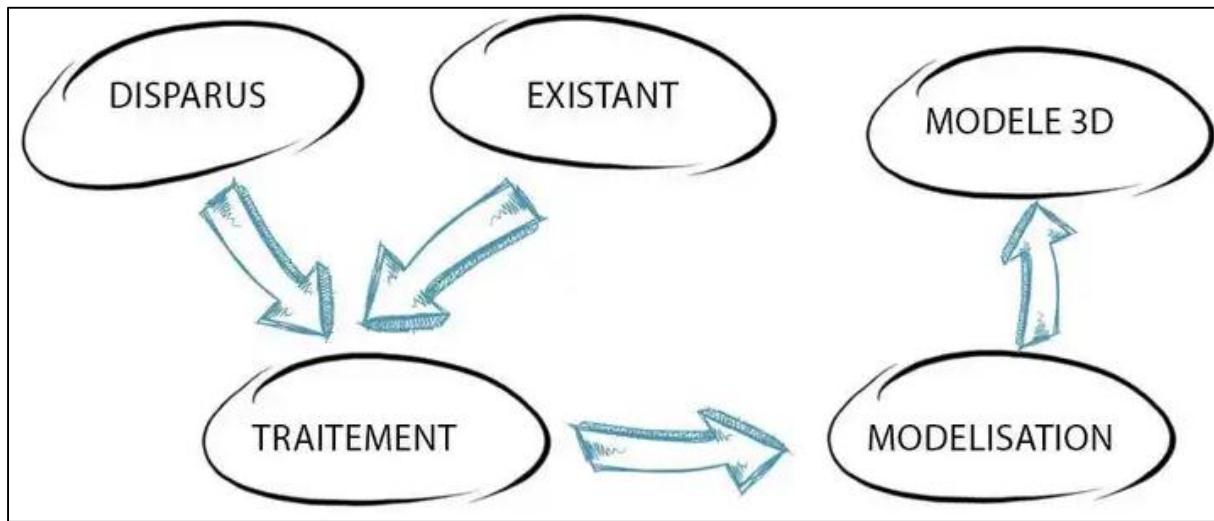


Figure 11 : le principe de la restitution (issuu.com, 2025).

La restitution permet de visualiser les édifices tels qu'ils étaient avant suivant ces étapes :

- Scanner laser.
- Relevés géographique.
- Technologie GPS.
- Photogrammétrie.
- Les outils de modélisation 3D.

Nous citons comme exemple le patrimoine syrien, détruit par la guerre, modélisé par une startup française ICONEM qui a pour but de modéliser les sites patrimoniaux en péril.

Cette modélisation a pour but de laisser une trace existante du patrimoine syrien, pour les futures générations, mais aussi cette génération qui a assisté à sa destruction afin de garder la mémoire collective du pays (Ibid.).



Figure 12 : Exemple de restitution en 3d des souks d'Alep (issuu.com, 2025).

La Tunisie aussi a commencé cette nouvelle approche intelligente vis-à-vis du patrimoine ; plusieurs essais ont été effectués dont la cité punique de Carthage, Dougga, et la ville romaine de Sbeitla. Nous montrons l'exemple de la ville de Sbeitla après sa restitution en trois dimensions (Ibid.).



Figure 13 : Les ruines de la ville de Sbeitla à l'état actuel et leurs restitutions en 3 dimensions (issuu.com, 2025).

Cet essai a été effectué par des étudiants et des professionnels en la matière, dans le cadre d'un projet qui vise à restituer tous les sites archéologiques tunisiens, afin d'encourager les visites virtuelles mais aussi mettre en valeur le patrimoine délaissé du pays.

I.7. Les contraintes d'intervention sur le patrimoine :

Les interventions sur le patrimoine bâti sont soumises à un ensemble complexe de contraintes, imposées par des considérations légales, historiques, architecturales, environnementales, sociales, techniques et financières. Ces contraintes visent à préserver l'intégrité, l'authenticité et la valeur culturelle des biens patrimoniaux.

I.7.1. Légales et réglementaire :

Toute intervention sur un bien classé ou inscrit au titre du patrimoine est encadrée par des dispositions légales strictes. En France, le Code du patrimoine régit ces interventions, imposant des autorisations préalables et un contrôle scientifique et technique par les services de l'état. De même, en Algérie, la loi n°98-04 du 15 juin 1998 encadre la protection du patrimoine culturel, stipulant que toute modification d'un bien classé nécessite une autorisation administrative (www.culture.gouv.fr, 2025).

I.7.2. Historiques et culturelles :

La restauration doit respecter l'histoire et la culture du lieu. Cela implique l'utilisation de matériaux et de techniques traditionnels pour préserver l'identité historique. La Charte de Venise de 1964 souligne l'importance de conserver les valeurs esthétiques et historiques des

monuments, en se fondant sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques (Charte de Venise, 1964).

I.7.3. Architecturales :

Les bâtiments anciens présentent souvent des structures fragiles. Les interventions doivent donc être précises et réversibles, permettant de futures restaurations. L'harmonie visuelle et les proportions d'origine doivent être respectées. La Charte de Cracovie de 2000 insiste sur la nécessité de préserver l'intégrité architecturale des monuments (Ibid.).

I.7.4. Environnementales :

Les interventions doivent tenir compte de l'environnement naturel et bâti. Les conditions climatiques locales influencent la durabilité des matériaux. L'utilisation de matériaux respectueux de l'environnement et la gestion des ressources sont essentielles pour minimiser l'impact écologique (www.architecte-batiments.fr, 2025).

I.7.5. Sociales et touristiques :

Adapter le patrimoine à des fonctions contemporaines, comme des musées ou des espaces publics, nécessite une approche équilibrée. Il est crucial de prendre en compte les attentes des habitants et des acteurs locaux. La participation des communautés locales est essentielle pour assurer la pérennité des interventions (www.unesco.org/fr, 2025).

I.7.6. Technique :

La restauration du patrimoine nécessite des compétences spécifiques. Faire appel à des artisans spécialisés et utiliser des techniques appropriées est indispensable. Les matériaux modernes doivent être compatibles avec les matériaux anciens pour éviter des dégradations.

I.7.7. Financières :

Les interventions sur le patrimoine sont souvent coûteuses. Elles nécessitent des budgets importants et une planification financière rigoureuse. Des aides publiques, des subventions ou des avantages fiscaux peuvent être accordés pour soutenir ces projets (www.unesco.org/fr, 2025).

I.8. Les stratégies d'interventions :

Il existe plusieurs stratégies d'interventions sur un patrimoine bâti. Ces dernières n'ont pas laissé les architectes du patrimoine indifférents. Bien au contraire, il y a plusieurs avis quant à l'intervention contemporaine sur un édifice patrimonial.

En effet intervenir sur un édifice peut le sauvegarder et même l'embellir davantage afin de le mettre plus en valeur ; d'ailleurs, « ce sont parfois des éléments nouveaux qui mettent en valeur ceux du passé » (Sayah, 2025).

I.8.1. Extension accolée :

Cette extension se traduit par l'ajout d'un nouveau volume accolé à l'ancien. Elle est souvent utilisée pour insérer une nouvelle fonction. Cette dernière peut avoir le même style architectural que l'ancien édifice comme elle peut avoir un style architectural totalement différent de l'ancien.

Nous citons l'exemple de l'ancienne église de Morneg-Tunisie. D'ailleurs, c'est en 2014 que l'agence a remporté le concours, sa proposition s'est démarquée des autres. Les architectes ont d'abord commencé par restaurer l'église, puis introduire des petits volumes indépendants à l'intérieur, ensuite démolir des volumes auxiliaires et finalement planter une extension. Cette dernière se manifeste par trois volumes blancs, détachés de mur de l'église reliées par une passerelle et abritant les clubs (Ibid.).



Figure 14 : Schéma d'extension juxtaposée
(issuu.com, 2025).

Figure 15 : Maison de culture de Morneg d'Arké architects (issuu.com, 2025).

I.8.2. Extension en hauteur :

Nous utilisons cette extension lorsque le terrain ne permet pas une extension dans les alentours. Ceci permet d'accentuer le bâtiment et souligner son ampleur. L'extension en hauteur

peut suivre le même langage architectural que le bâtiment ou se démarquer par l'utilisation de différents matériaux ou même un autre style architectural (Sayah, 2025).

Nous citons l'exemple d'une maison à Vienne, effectué par l'architecte Josef WEICHENBERGER. L'extension consiste à jouter quatre appartements sur trois étages, sur le toit d'une maison existante.

L'architecte s'est inspiré de la forme irrégulière d'intersection des rues entourant la maison pour superposer ses volumes. Ces derniers sont en verre ce qui les démarque du bâtiment existant.

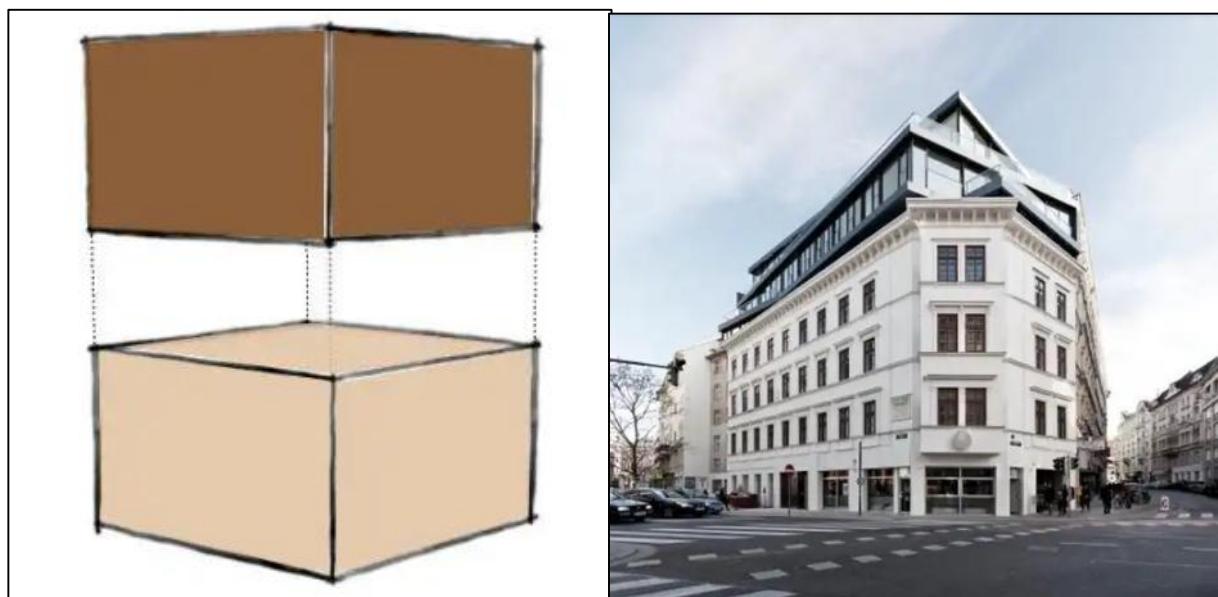


Figure 16 : Schéma d'extension en hauteur
(issuu.com, 2025).

Figure 17 : Margaretenstraße de Josef WEICHENBERGER
architects + Partner (issuu.com, 2025).

I.8.3. Intervention sur l'intérieur :

L'extension à l'intérieur est de plus en plus utilisée, cette méthode consiste à laisser l'extérieur tel qu'il est et effectuer les changements à l'intérieur. L'harmonie entre fonction et surface intérieur doit être bien présente pour que le projet réussisse (Sayah, 2025).

Nous citons l'exemple du Musée Champollion, installé dans la maison natale de Jean François CHAMPOLLION, l'égyptologue français qui a déchiffré les hiéroglyphes. La maison fut restaurée d'abord en 1973, puis en 2005 l'architecte Alain MOATII s'est chargé du chantier.

En effet il a laissé l'extérieur intact, et fait son intervention sur l'intérieur avec l'aide du graphiste Pierre Di SCUILLO qui a dessiné plusieurs signes d'écritures du monde.

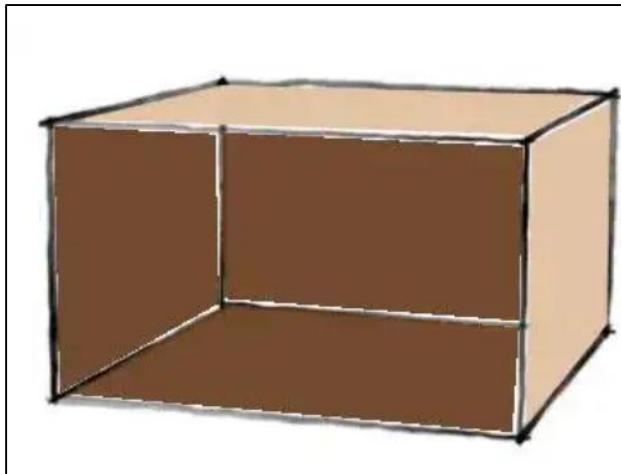


Figure 18 : Schéma d'extension à l'intérieur (issuu.com, 2025).



Figure 19 : Musée Champollion de Alain MOATTI (issuu.com, 2025).

I.8.4. Intervention sur l'enveloppe :

Parfois nous sommes obligés d'intervenir sur l'enveloppe extérieure de l'édifice si elle se trouve endommagée. Cette intervention sert aussi à marquer l'entrée dans quelques cas (Ibid.).

Nous citons l'exemple du Musée de culture contemporaine de Barcelone, installé dans l'ancienne maison de charité et qui doit sa nouvelle conception à l'architecte Richer MEIER.

En effet il a utilisé de larges parois de verre et matériaux réfléchissants pour assurer la luminosité à l'intérieur, et il a marqué l'entrée par un volume en verre.

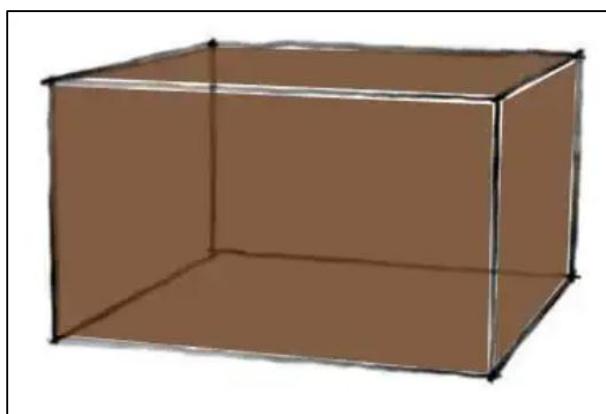


Figure 20 : Schéma d'extension sur l'enveloppe (issuu.com, 2025).



Figure 21 : Musée de culture contemporaine-Barcelone (issuu.com, 2025).

Conclusion :

A travers ce chapitre il a été question de comprendre la notion du patrimoine ses caractéristiques et les actions menées pour sa préservation et sauvegarde.

Ainsi, le patrimoine représente bien plus qu'un héritage du passé. C'est une ressource fondamentale pour construire l'identité culturelle. Ainsi, l'identité patrimoniale d'une nation est celle qui s'accroche au passé, renforce les liens sociaux et transmet les valeurs à la génération future.

Pour que cet héritage continue d'enrichir les générations futures, il est nécessaire de trouver un équilibre entre modernisation et préservation. D'un côté, il faut préserver l'intégrité du bâtiment, sa valeur esthétique et sa valeur historique. De l'autre, il faut les concilier avec les exigences du moment : normes de sécurité, accessibilité universelle, intégration de technologies vertes, et surtout minimisation de l'empreinte énergétique.

Chapitre II :

L'efficacité

énergétique et son

application dans les

bâtiments anciens

Introduction

La maîtrise de l'énergie est l'un des défis majeurs auxquels nos sociétés doivent faire face, tant en raison de l'épuisement progressif des ressources que de l'impact sur le réchauffement climatique. Dans ce contexte, les concepteurs s'efforcent de créer des ambiances intérieures confortables tout en adoptant une démarche de développement durable. Cela se traduit par l'émergence de nouveaux vocabulaires et concepts, centrés sur l'économie d'énergie, la rentabilité, et surtout, sur une approche écologique plus responsable.

L'un des leviers essentiels de cette transition est l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment, qui représente une part importante de la consommation mondiale d'énergie. Aujourd'hui, les constructions sont classées selon leurs performances en bâtiments basse consommation, passifs ou à énergie positive, en fonction de leurs caractéristiques architecturales, techniques et de leur capacité à intégrer les énergies renouvelables.

Toutefois, si la conception neuve permet d'anticiper ces enjeux, la réhabilitation énergétique du bâti ancien impose des contraintes spécifiques. Il s'agit d'améliorer l'efficacité sans dénaturer les valeurs historiques et patrimoniales des édifices existants. Ce chapitre vise ainsi à explorer les principes de l'efficacité énergétique et leur application raisonnée dans les bâtiments anciens, à travers des stratégies adaptées, respectueuses de l'identité architecturale.

□.1. L'énergie :

II.1.1. Définition :

L'énergie est un facteur déterminant pour la survie des sociétés et elle est indispensable à la satisfaction des besoins quotidiens, parce qu'elle est exploitée presque par toutes les activités humaines pour assurer le développement économique et sociale.

La définition de l'énergie est plutôt vague, mais elle est largement acceptée en fonction des différents domaines que nous avons trouvés :

Pour les physiciens et les naturalistes (Tipler, Paul A., et Mosca,G, 2007): l'énergie est la puissance matérielle qui fait un travail.

En termes économistes (Chevalier, 2011): c'est la quantité d'énergie mécanique marchandise ; c'est-à-dire toute l'énergie et les formes d'énergie qui peuvent être utilisées en n'importe quelle quantité, aussi bien pour produire de la chaleur que pour faire fonctionner des machines.

L'énergie étant essentielle au confort, elle peut être introduite dans les bâtiments selon deux axes principaux (www.ademe.fr, 2021):

Le coût énergétique « initial » d'un bâtiment provient du coût énergétique des matériaux et de la construction.

Le coût de l'énergie « vitale » consommée pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage et l'alimentation.

II.1.2. Les différentes énergies :

L'énergie provient de nombreuses sources. Nous utilisons des combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel, ainsi que l'énergie éolienne et solaire, et nous disposons de centrales à fusion nucléaire et de grandes centrales hydroélectriques. Les scientifiques travaillent au développement de l'énergie de fusion, la source d'énergie qui fait briller le soleil et d'autres étoiles.

On distingue deux différentes sources d'énergie : les matières premières et les phénomènes naturels. Les premières fournissent les énergies dites fossiles alors que les autres fournissent les énergies dites renouvelables (www.kelwatt.fr, 2025).

- Energie non renouvelable est générée par la combustion de matières fossiles comme le gaz naturel, le mazout et le charbon. L'énergie nucléaire est également considérée comme une forme non renouvelable d'énergie.
- Energie renouvelable sont des énergies provenant de sources naturelles qui se renouvellent, il existe 5 sources d'énergie renouvelables majeures : le solaire, l'éolien, l'hydraulique, la biomasse et la géothermie.

II.2. L'efficacité énergétique :

II.2.1. Définition :

L'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (l'efficacité, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée.

L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste donc, par rapport à une situation de référence soit à :

- Augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante.
- Économiser l'énergie à service rendu égal.
- Réaliser les deux simultanément.

Ainsi, les solutions d'efficacité énergétique visent à améliorer l'efficacité délivrée avec une moindre consommation d'énergie.

II.2.2. Démarche et étapes de l'efficacité énergétique :

En matière d'efficacité énergétique, il faut jouer sur trois leviers :

- La diminution des besoins qui sont relatifs au bâti.
- L'amélioration des équipements techniques du bâtiment et leur gestion.
- Le comportement de l'utilisateur.

L'approche conceptuelle d'amélioration de l'efficacité énergétique est identique pour les secteurs résidentiel et tertiaire. En revanche la mise en pratique sur le terrain sera différente en raison des divergences liées :

- Aux aspects techniques.
- Aux équipements, systèmes et solutions à mettre en œuvre.
- Aux coûts d'exploitation et de maintenance.
- Aux méthodes de financement.
- Aux temps de retour sur investissement.

La conception efficace ne se suffit pas à elle-même. Elle doit être appuyée à chaque instant par une gestion rationnelle de l'énergie. La maîtrise des consommations consiste à devenir acteur conscient de ses consommations.

II.2.3. Les facteurs de l'efficacité énergétique :

D'après Morillon, Dupont et Lefèvre (2011), il existe cinq facteurs de l'efficacité énergétique :

- La conception des bâtiments intelligents**

Ce facteur met l'accent sur une architecture bioclimatique et l'utilisation des technologies intelligentes dès la phase de conception. Il s'agit de créer des bâtiments capables de minimiser leur consommation énergétique tout en optimisant le confort des occupants. Cela passe par :

- Une bonne orientation du bâtiment pour profiter des apports solaires.
- Une isolation thermique efficace.
- L'intégration de capteurs et de systèmes automatisés (domotique).
- L'utilisation des matériaux à haute efficacité énergétique.

Ces choix permettent au bâtiment de réguler sa consommation de manière autonome et efficace.

- La liberté d'ajustement des paramètres de confort par les usagers**

Ce facteur repose sur l'idée que l'implication directe des utilisateurs dans la régulation de leur environnement peut entraîner une amélioration de l'efficacité énergétique. Permettre aux occupants d'ajuster eux-mêmes la température, l'éclairage ou la ventilation selon leurs besoins immédiats favorise :

- Une meilleure satisfaction individuelle.
- Une limitation des gaspillages énergétiques liés à des réglages automatiques non adaptés.

- L'intégration des systèmes d'auto-adaptabilité**

Il s'agit d'équiper les bâtiments des systèmes intelligents qui s'adaptent automatiquement au comportement des usagers et à l'évolution des conditions environnementales. Par exemple :

- DéTECTEURS DE PRÉSENCE.
- Régulation automatique du chauffage ou de la lumière en fonction de l'occupation ou de la luminosité extérieure.
- Rappels ou corrections automatiques si une fenêtre reste ouverte trop longtemps.

Ces systèmes aident l'utilisateur sans qu'il ait à intervenir en permanence.

- L'implication de l'occupant comme éco-acteur**

Ce facteur met en avant la dimension comportementale : les utilisateurs doivent être sensibilisés et responsabilisés pour devenir acteurs de l'efficacité énergétique. Cela peut se faire par :

- Des campagnes d'information.
- Des dispositifs de suivi en temps réel de la consommation énergétique.
- Des incitations à adopter des gestes économies (éteindre les lumières, optimiser l'usage des appareils).

Un occupant conscient de son impact énergétique agit de manière plus responsable.

- **L'évaluation et le contrôle global du confort**

Enfin, il est essentiel de mesurer et contrôler le confort dans toutes ses dimensions : thermique, visuel, acoustique, et qualité de l'air. Cette évaluation globale permet :

- D'ajuster les systèmes techniques selon les ressentis réels des usagers,
- D'éviter les contre-performances (par exemple, un bon rendement thermique mais un inconfort acoustique),
- De garantir que la quête d'efficacité énergétique ne se fait pas au détriment du bien-être.

II.2.4. Les innovations technologiques favorisant l'efficacité énergétique :

Voici quatre innovations qui ont révolutionné le quotidien des entreprises. Ce sont des solutions simples, mais redoutablement efficaces pour maîtriser sa facture et faire un premier pas vers l'efficacité énergétique des bâtiments (idelecplus.com, 2025).

II.2.4.1. Dalles chauffantes pour maîtriser sa facture de chauffage :

Le béton est connu pour ses capacités à stocker la chaleur et la fraîcheur. En utilisant le principe d'inertie, il est possible de réguler la température grâce à des tubes d'eau chaude sous pression qui traversent les dalles, ou bien avec des câbles électriques résistifs chauffants.

Chapitre II: L'efficacité énergétique et son application dans les bâtiments anciens

Les dalles thermoactives sont particulièrement intéressantes pour les gros volumes (usines, chaînes de production). Par contre, elles ne peuvent être installées que lors de la construction d'un bâtiment (Ibid.).

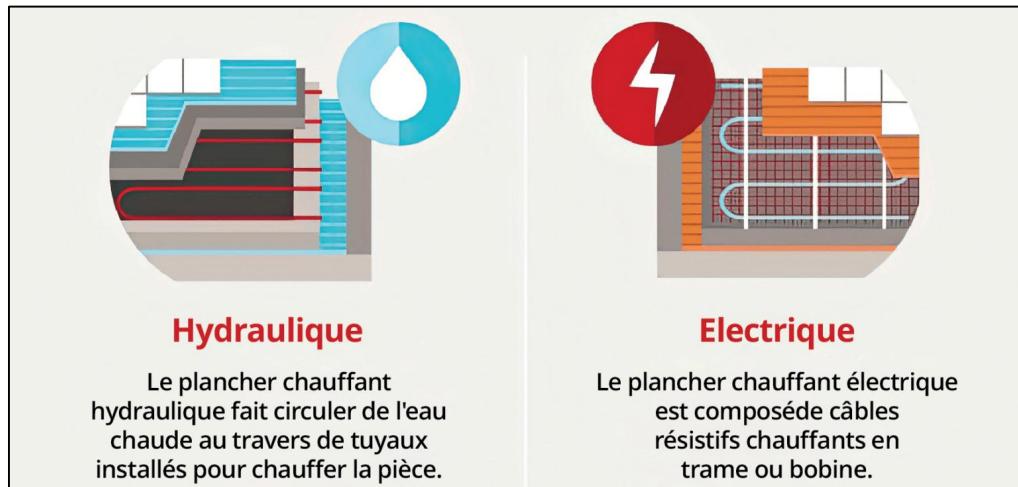


Figure 22 : les types de chauffage au sol (www.warmupfrance.fr, 2025).

II.2.4.2. Les avancées de la Gestion Technique du Bâtiment (GTB) :

La Gestion Technique du Bâtiment (ou GTB) permet de centraliser les informations des équipements électriques, de chauffage, de ventilation, mais aussi les dispositifs anti-incendie, la vidéosurveillance ou la plomberie...etc (Ibid.).

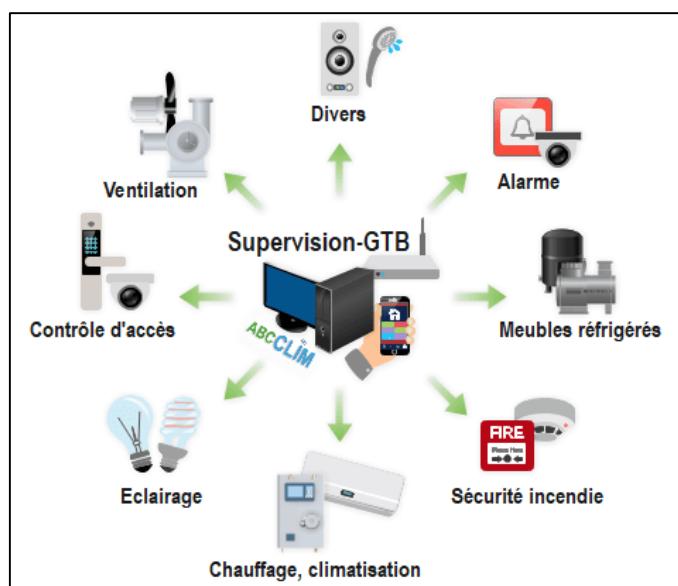


Figure 23 : La Gestion Technique du Bâtiment (GTB) (fr.scribd.com, 2025).

De nombreuses entreprises proposent des logiciels très simples à utiliser pour optimiser tout son réseau. La mise en place d'une GTB efficace permet de réduire drastiquement sa facture d'énergie, mais aussi de prévoir les pannes en amont et d'optimiser les périodes de maintenance.

Et donc d'améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment. C'est un facteur de compétitivité très important.

II.2.4.3. Panneaux aérovoltaïques pour optimiser les microgrids :

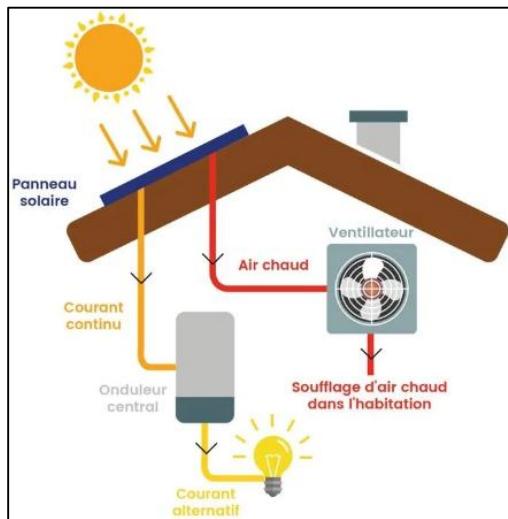


Figure 24 : La fonction des panneaux aérovoltaïques (www.otovo.fr, 2025).

Les panneaux aérovoltaïques rentrent dans une stratégie de GTB. Ils permettent de récupérer la chaleur perdue par les panneaux photovoltaïques et de la réinjecter dans le système de chauffage ou d'électricité. Ainsi, on augmente drastiquement l'efficacité de sa microgrid. Pour rappel, une microgrid est un système énergétique secondaire qui permet de suppléer l'approvisionnement du bâtiment (Ibid.).

II.2.4.4. Passez à l'éclairage à LED pour faire des économies :

Les lampes à LED promettent des économies de plus de moitié par rapport aux éclairages à incandescence. En couplant les éclairages à LED avec des détecteurs de présence, on peut baisser son budget éclairage de près de 90 %. Les LED sont utilisés aussi bien dans l'industrie (halls et lignes de production) que dans les bâtiments tertiaires (hôpitaux, magasins). De bons luminaires améliorent le confort des employés ainsi que leur productivité (Ibid.).

II.2.5. Les avantages de l'efficacité énergétique :

Les bâtiments sont responsables d'une part importante de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. L'efficacité énergétique dans les bâtiments peut contribuer à réduire la consommation et les coûts énergétiques tout en réduisant l'empreinte carbone. Les avantages de l'efficacité énergétique dans les bâtiments sont nombreux et affectent non

seulement l'environnement mais aussi les occupants et les propriétaires des bâtiments (fastercapital.com, 2025).

II.2.5.1. Amélioration de la qualité de l'air intérieur :

Les bâtiments à l'efficacité énergétique ont souvent une meilleure ventilation et une meilleure qualité de l'air que les bâtiments traditionnels. Une bonne ventilation contribue à réduire la concentration de polluants dans l'air intérieur, qui peuvent nuire à la santé des occupants. L'amélioration de la qualité de l'air intérieur peut contribuer à réduire les risques pour la santé et à améliorer le confort général des occupants du bâtiment.

II.2.5.2. Empreinte carbone réduite :

Les bâtiments à l'efficacité énergétique contribuent à réduire l'empreinte carbone en consommant moins d'énergie et en émettant moins de gaz à effet de serre. Ceci est important pour les propriétaires de bâtiments qui souhaitent réduire leur impact environnemental et atteindre leurs objectifs de développement durable. Les bâtiments économies en énergie peuvent contribuer à réduire l'empreinte carbone globale d'une ville ou d'une région.

II.2.5.3. Confort amélioré des occupants :

Les bâtiments économies en énergie offrent souvent un meilleur confort thermique que les bâtiments traditionnels. Des systèmes d'isolation, de ventilation et de CVC appropriés peuvent aider à maintenir une température et un niveau d'humidité intérieurs confortables. L'amélioration du confort des occupants peut contribuer à augmenter la productivité, à réduire l'absentéisme et à améliorer le bien-être général des occupants.

II.2.5.4. Économies de coûts :

L'un des principaux avantages de l'efficacité énergétique dans les bâtiments est la réduction des coûts. Les bâtiments à l'efficacité énergétique consomment moins d'énergie, ce qui entraîne une baisse des factures énergétiques. Les propriétaires de bâtiments peuvent investir dans des technologies et des systèmes économies en énergie qui peuvent contribuer à réduire la consommation d'énergie et à économiser de l'argent à long terme. Par exemple, l'installation d'un éclairage LED, de systèmes CVC à haut rendement et de commandes intelligentes peut contribuer à réduire la consommation d'énergie et les coûts.

II.2.5.5. Conformité aux réglementations :

De nombreuses villes et États ont des réglementations et des codes qui exigent que les bâtiments atteignent un certain niveau d'efficacité énergétique. Les propriétaires de bâtiments qui investissent dans des technologies et des systèmes économes en énergie peuvent se conformer à ces réglementations et éviter des pénalités ou des amendes.

II.2.5.6. Augmentation de la valeur foncière :

Les bâtiments à l'efficacité énergétique ont souvent une valeur foncière plus élevée que les bâtiments traditionnels. En effet, les bâtiments à l'efficacité énergétique sont plus attrayants pour les locataires et les acheteurs qui recherchent des bâtiments qui peuvent les aider à économiser de l'argent sur leurs factures d'énergie. Les propriétaires d'immeubles peuvent augmenter la valeur de leur propriété en investissant dans des technologies et des systèmes économes en énergie (Ibid.).

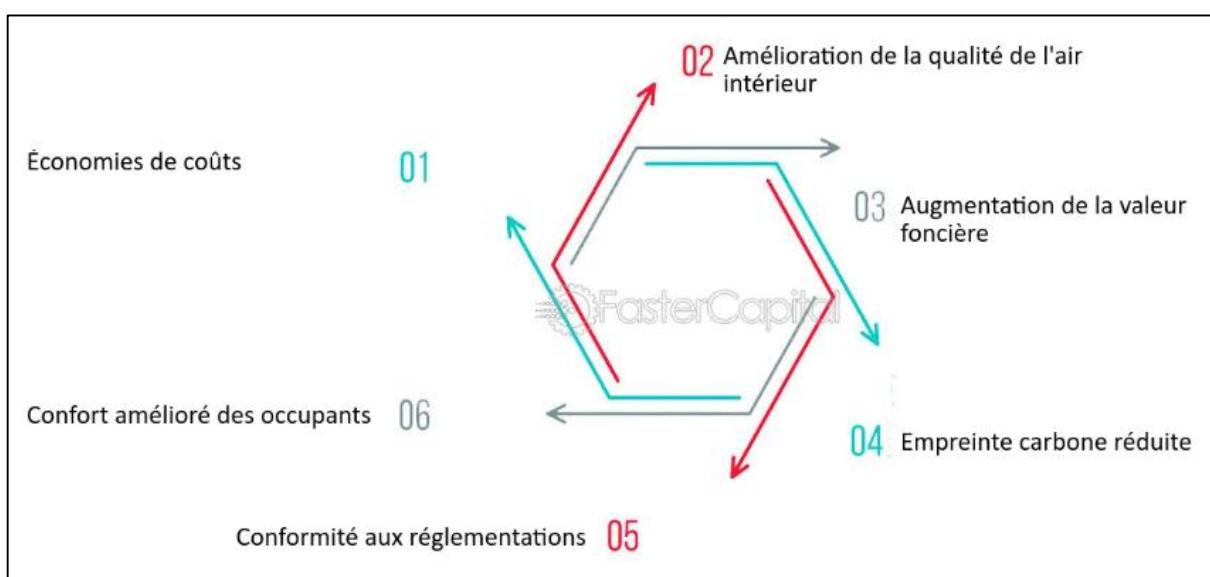


Figure 25 : Les avantages de l'efficacité énergétique dans les bâtiments (fastercapital.com, 2025).

II.3. Classification des bâtiments à efficacités énergétiques :

Suivant leurs niveaux de l'efficacité énergétiques, les bâtiments sont classés en trois familles :

II.3.1. Bâtiments efficace (BBC) « basse énergie » :

Les bâtiments efficace, souvent appelés bâtiments basse énergie (à basse consommation), se caractérisent principalement par une conception architecturale bioclimatique, une bonne isolation thermique, des fenêtres efficace, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait, parfois associé à un puits climatique, un système de génération efficace (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité à l'air et aux ponts thermiques (KHADRAOUI, 2019).

Un bâtiment à bas énergie désigne un ouvrage dont la consommation énergétique est nettement inférieure aux exigences réglementaires minimales. Fixe cette consommation à 50 kWh/m²/an d'énergie primaire pour les usages de chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, éclairage et auxiliaires (ventilation, pompes). Ce seuil est modulé selon la zone climatique et l'altitude (librairie.ademe.fr, 2018).

Architecturalement, un bâtiment BBC repose sur une enveloppe performante (isolation renforcée, menuiseries à haute performance thermique, traitement rigoureux de l'étanchéité à l'air), une orientation optimisée pour capter les apports solaires passifs, et des systèmes techniques à haut rendement (chaudières à condensation, ventilation double flux...etc).

II.3.2. Bâtiments très efficace « très basse énergie » :

Ils sont définis comme étant des bâtiments dans lesquels l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel à aucun conventionnel de régulation de température, ni de chauffage, ni de refroidissement (KHADRAOUI, 2019).

Le bâtiment à très basse énergie, souvent désigné sous le terme « bâtiment passif », vise un niveau de consommation encore plus bas, avec une consommation de chauffage inférieure à 15

kWh/m²/an. Ce standard est internationalement connu sous le nom de Passivhaus (Feist, Wolfgang & Schnieders, Jurgen, 2008, pp. 511-517).

Ce type de bâtiment repose sur une conception bioclimatique avancée, une très forte compacité, une isolation thermique continue (valeurs de $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pour les murs), une ventilation mécanique avec récupération de chaleur ($>75\%$), ainsi qu'une étanchéité à l'air exceptionnelle ($n50 \leq 0,6 \text{ vol/h}$) (Ibid.).

Les besoins en chauffage sont tellement réduits qu'aucun système de chauffage conventionnel n'est nécessaire ; les apports internes (occupants, équipements) et le solaire passif suffisent à maintenir une température confortable.

II.3.3. Bâtiments à énergie positive (BEZ) « zéro énergie » :

Ces bâtiments sont la combinaison de bâtiments basse énergie ou passifs avec des systèmes d'énergies renouvelables tels que les toits solaires photovoltaïques (KHADRAOUI, 2019).

Ce type du bâtiment est particulièrement adapté aux sites isolés ou insulaires car il évite les coûts de raccordement aux divers (Ibid.).

Le bâtiment à énergie zéro est un bâtiment dont le solde énergétique annuel est nul : il produit, grâce à des sources d'énergie renouvelable sur site (principalement photovoltaïque ou géothermie), autant d'énergie qu'il n'en consomme sur une année (Marsal, A. J, 2011, pp. 971-979).

Au-delà de l'enveloppe performante et des équipements ultra-efficients hérités du standard passif, un bâtiment zéro énergie intègre une production d'énergie renouvelable intégrée (toitures solaires, façades actives, etc.) et souvent un système de gestion technique centralisé pour optimiser la consommation en temps réel (Ibid.).

Ce concept est soutenu au niveau européen, qui impose à tous les nouveaux bâtiments d'atteindre ce niveau à partir de 2020 dans les pays membres.

Tableau 2 : Résumé comparatif (Auteur 2025).

Classification	Consommation de chauffage	Énergie renouvelable intégrée	Etanchéité à l'air
Basse énergie (BBC)	<50 kWh/m ² /an (tous usages)	Optionnelle	≤ 1 vol/h à 4 Pa
Très basse énergie	<15 kWh/m ² /an (chauffage seul)	Parfois intégrée	≤ 0.6 vol/h à 50 Pa
Zéro énergie (BEZ)	= 0 (solde annuel net)	Obligatoire	Très élevée

II.4. Les clés de l'efficacité énergétique dans le bâtiment :

Les paramètres clés de l'efficacité énergétique peuvent être résumés comme suit :

II.4.1. La conception architecturale des bâtiments :

La prise en compte, dès la conception, des paramètres de construction du bâtiment tels que l'orientation des façades et des ouvertures, le taux de vitrage et les protections solaires (Basma, 2023, p. 39).

II.4.2. L'isolation thermique des parois (murs et toiture) :

L'isolation thermique des bâtiments permet la diminution des échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, elle réduit également les besoins de chauffage et de climatisation en minimisant les déperditions thermiques. Cette isolation doit être étudiée en fonction des conditions climatiques du lieu de la construction (Ibid.).

II.4.3. Le choix des matériaux :

Il faut choisir de meilleurs isolants thermiques et des matériaux énergétiquement efficaces. Ainsi, les matériaux locaux qui permettent de réduire les déperditions thermiques (Basma, 2023, p. 40).

II.4.4. L'utilisation de vitrage de bonne efficacité optique et thermique :

Le type du vitrage utilisé joue un rôle très important dans la maîtrise de l'ambiance interne de l'espace construit. Les ouvertures dans les murs ou les murs rideaux sont des points faibles de l'isolation des constructions, il est donc nécessaire d'utiliser des vitrages à haute d'efficacité énergétique (Ibid.).

II.4.5. Énergies renouvelables :

L'utilisation des sources d'énergies dont le renouvellement naturel est assez rapide, considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain (Ibid.).

II.4.6. L'utilisation de systèmes d'éclairage efficace dans les bâtiments :

Les lampes à incandescence ou halogènes standards sont à éviter et à remplacées par des lampes économiques dont le rendement lumineux est 5 à 6 fois supérieur et la durée de vie est 8 fois plus longue ; elles sont rentabilisées en moins d'un an (Ibid.).

II.5. Les stratégies pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments anciens :

L'efficacité énergétique est un enjeu majeur dans le contexte environnemental et économique actuel. Particulièrement, les bâtiments anciens représentent un défi significatif en raison de leurs structures et matériaux souvent moins efficace sur le plan énergétique.

Voici les différentes stratégies permettant d'améliorer l'efficacité énergétique de ces édifices, tout en préservant leur caractère historique et architectural. Découvrez les méthodes efficaces pour réduire la consommation d'énergie et contribuer à la protection de l'environnement, sans compromettre l'esthétique de votre patrimoine (c-larevue.com, 2025).

II.5.1. Diagnostic énergétique :

Avant d'initier des travaux pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment ancien, il est vital de procéder à un diagnostic énergétique approfondi. Cette étape préliminaire permet d'évaluer l'efficacité énergétique actuelle et d'identifier précisément les points faibles en termes

d'isolation thermique et de consommation d'énergie. Un audit énergétique complet englobe plusieurs phases, dont l'examen de l'enveloppe du bâtiment, l'analyse des systèmes de chauffage et de refroidissement, ainsi que la réalisation d'une thermographie infrarouge pour détecter les déperditions de chaleur.

Les propriétaires de ces constructions patrimoniales doivent faire appel à des professionnels certifiés pour garantir la fiabilité des résultats. Ces experts évalueront les besoins spécifiques en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique et proposeront un plan d'action sur mesure. Les bénéfices d'un tel diagnostic sont multiples : réduction des coûts énergétiques, augmentation du confort intérieur, et contribution à la préservation de l'environnement en diminuant l'empreinte carbone du bâtiment (Ibid.).

II.5.2. Isolation efficace :

L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments anciens passe inévitablement par une isolation efficace. Cette étape-clé permet de réduire considérablement la déperdition thermique, ce qui est indispensable pour transformer ces espaces chargés d'histoire en lieux de vie confortables et économies en énergie (Ibid.).

Parmi les matériaux écologiques privilégiés pour l'isolation thermique, on trouve la laine de bois, le liège ou encore la ouate de cellulose, tous reconnus pour leur faible impact environnemental et leur excellente capacité à isoler.

II.5.3. Systèmes de chauffage modernes :

Dans la rénovation de bâtiment ancien, l'adoption de systèmes de chauffage modernes représente une démarche significative pour accroître l'efficacité énergétique. Les options comme les pompes à chaleur ou les chaudières à condensation constituent des alternatives de chauffage efficace qui concilient l'efficacité et respect de l'esthétique des édifices historiques.

La pompe à chaleur, par exemple, peut s'avérer être une solution avantageuse grâce à sa capacité à extraire la chaleur de sources extérieures, même par temps froid, pour chauffer l'intérieur du bâtiment. La chaudière à condensation, quant à elle, optimise la combustion du carburant, réduisant ainsi les pertes énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre.

Pour choisir le système de chauffage le mieux adapté, il est primordial de considérer certains critères, tels que le type de construction, l'isolation existante et les réglementations patrimoniales. L'adéquation avec le bâti existant est vitale pour préserver l'intégrité structurelle et esthétique du bâtiment (c-larevue.com, 2025).

II.5.4. Fenêtres et vitrages adaptés :

La sélection de fenêtres et de types de vitrages constitue un levier primordial pour rehausser l'efficacité énergétique des édifices anciens. L'installation de fenêtres double vitrage est une approche bénéfique, permettant de diminuer considérablement les pertes de chaleur et d'optimiser l'isolation acoustique sans altérer l'esthétique d'origine. Un vitrage isolant bien choisi contribue non seulement à une réduction significative des dépenses énergétiques mais joue également un rôle dans la préservation du confort intérieur (Ibid.).

Il est à noter que l'amélioration passe aussi par la restauration des fenêtres existantes. En effet, la restauration permet de préserver l'authenticité architecturale tout en intégrant des technologies modernes. Le patrimoine historique ainsi préservé gagne en valeur, tandis que son efficacité énergétique est accrue. La transmission lumineuse, ou la capacité du vitrage à laisser passer la lumière naturelle, reste un paramètre technique à prendre en compte pour maintenir une luminosité adéquate tout en assurant une isolation efficace.

II.5.5. Gestion intelligente de l'énergie :

L'intégration de technologies de gestion intelligente de l'énergie dans les édifices historiques représente une stratégie pertinente pour réduire leur empreinte énergétique. Les systèmes de gestion d'énergie, tels que la domotique et les bâtiments connectés, offrent une palette de solutions permettant une régulation précise des consommations d'énergie.

Ces systèmes peuvent inclure des dispositifs de contrôle automatisés, capables de régler le chauffage, l'éclairage et la climatisation en fonction des besoins réels des occupants et des conditions météorologiques (Ibid.).

Conclusion

En conclusion, l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments constitue une réponse incontournable aux enjeux environnementaux, économiques et sociaux actuels. En réduisant la consommation d'énergie, ces bâtiments participent activement à la diminution de l'empreinte carbone, à l'amélioration du confort des usagers, à la réduction des coûts d'exploitation, et au respect des normes environnementales en vigueur.

Que ce soit dans le neuf ou dans l'existant, l'évolution des pratiques et des technologies permet désormais d'atteindre des niveaux de performance élevés, allant des bâtiments basse consommation (BBC) jusqu'aux bâtiments à énergie positive. Les constructions anciennes, bien que plus complexes à adapter, peuvent elles aussi faire l'objet d'interventions ciblées et respectueuses de leur identité architecturale, leur permettant d'atteindre de bonnes performances énergétiques.

Ainsi, le secteur du bâtiment s'impose comme un acteur majeur de la transition énergétique, et investir dans son efficacité représente une démarche durable, rentable et bénéfique à la fois pour les propriétaires, les usagers et l'environnement.

Chapitre III :

Les solutions et les

défis majeurs de la

réhabilitation

énergétique

Introduction

La réhabilitation énergétique des bâtiments patrimoniaux constitue aujourd’hui un enjeu majeur, à la croisée des préoccupations environnementales, économiques et culturelles. Face à l’urgence climatique et à la nécessité de préserver un patrimoine bâti souvent ancien et énergivore, il devient essentiel d’adopter des approches, combiner entre l’efficacité énergétique et respect de l’existant.

Ce chapitre s’attache à explorer les différentes solutions techniques mobilisables dans une démarche de réhabilitation énergétique, qu’elles soient passives ou actives, en mettant en valeur leur rôle complémentaire. L’étude se poursuit par une réflexion sur le confort thermique dans les bâtiments historiques, en distinguant les enjeux liés aux saisons hivernale et estivale.

Par ailleurs, une attention particulière est portée aux objectifs visés par la réhabilitation énergétique, ainsi qu’aux enjeux et critères qui conditionnent sa réussite. Enfin, les défis spécifiques liés aux bâtiments patrimoniaux seront identifiés, avant de conclure sur une application concrète des solutions proposées, à travers l’exemple de la résidence Mont Blanc à Lyon.

III.1. Les solutions techniques pour la réhabilitation énergétique :

III.1.1. Solutions d’intervention passive :

Il s’agit de l’ensemble des mesures architecturales visant à optimiser les éléments favorables du climat tout en offrant une protection contre les effets négatifs, sans une consommation énergétique.

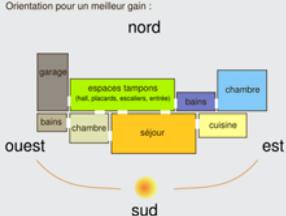
Le tableau suivant représente l’ensemble des mesures passives qui peuvent être appliquées :

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

Table 3 : Solutions d'intervention passive (Rapport de Solutions et Techniques pour un Bâtiment Efficient - Conception d'une maison performante. (2022)).

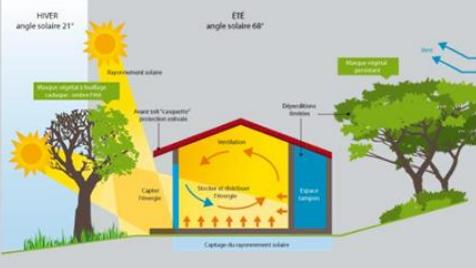
Mesures	Description	Illustration
Les paramètres environnementaux		
Implantation	S'éloigner de tout obstacle pouvant gêner le profit d'une ventilation naturelle et un bon ensoleillement	
Orientation (soleil/vent)	<p>Nord : ne peut être retenue.</p> <p>Est et Ouest : à éviter en raison des surchauffes d'été.</p> <p>Sud : intéressante car elle permet de profiter des apports solaires en hiver et moyennant des protections solaires adéquates évitant les surchauffes d'été.</p> <ul style="list-style-type: none"> - S'exposer aux vents en été et s'y protéger en hiver. 	
Les paramètres liés à la forme		
La compacité	<ul style="list-style-type: none"> - Réduire les surfaces d'échange avec l'extérieur et donc réduire les déperditions thermiques - Le coefficient de compacité c'est le rapport entre la surface des parois extérieures et le volume du bâtiment : $C=S/V$. 	
Les paramètres liés à l'enveloppe		
Isolation des parois et des vitrages	Empêcher les transferts de la chaleur, et donc réduire les besoins de chauffage et de climatisation.	
L'inertie thermique	La capacité d'un matériau à stocker et à restituer de l'énergie sous forme de chaleur.	
Protection solaire des ouvertures	Avoir une bonne protection durant l'été et un meilleur profit des gains solaires en hiver. Ils peuvent être naturelle ou architecturale.	
Ventilation naturelle	Disposition et dimensionnement convenable des ouvertures	

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

Protection des toitures Par les terrasses végétalisés qui apporte une isolation thermique contre le froid et la chaleur. (régulation thermique)	
Les paramètres liées à l'organisation spatiale	
Zonage thermique Orientation des espaces selon les besoins en matière de quantité de chaleur et lumière.	

Le tableau suivant représente le fonctionnement pour le chauffage et la climatisation passive :

Table 4 : Fonctionnement de chauffage et climatisation passive (Rapport de Solutions et Techniques pour un Bâtiment Efficient - Conception d'une maison performante. (2022)).

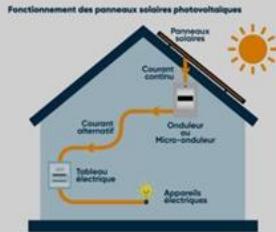
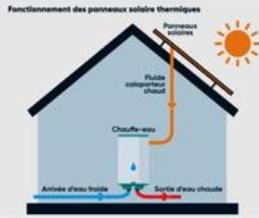
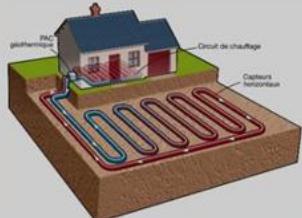
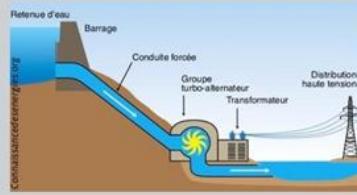
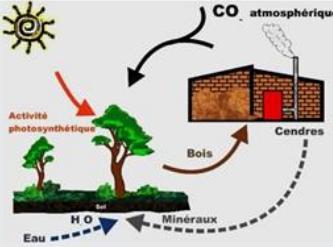
Mesures	Fonctionnement	Illustration
Chauffage solaire passif (hiver)	Minimiser les besoins de chauffage électrique: Capter => stocker => Distribuer => Conserver	
Climatisation passive (été)	Minimiser les besoins de rafraîchissement en empêchant les rayons solaires excessifs et donc les risques de surchauffe : Protéger => Eviter => Dissiper => Rafraîchir => Minimiser.	

III 1.2. Solutions d'intervention active :

Il s'agit de faire recours aux énergies renouvelables (source propre) afin de compenser et de compléter les besoins assurés par les mesures passives, mais sans oublier de diminuer au maximum la consommation énergétique.

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

Table 5 : Solutions d'interventions actives (Rapport de Solutions et Techniques pour un Bâtiment Efficient - Conception d'une maison performante. (2022)).

Mesures	Energie utilisée	Description	Illustration
Panneaux photovoltaïques	Energie solaire	Capter les rayons solaires afin de fabriquer de l'électricité et la stocker dans un onduleur.	
Panneaux solaires thermique	Energie solaire	Capter les rayons solaires afin de fabriquer de la chaleur utilisée pour chauffer l'eau sanitaire.	
Géothermique	Energie de chaleur de la terre	Utiliser la température du sous-sol de la Terre (l'inertie thermique) pour produire de la chaleur ou de l'électricité.	
Les éoliennes	Les vents (l'intensité et la direction)	Transformant l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique puis électrique.	
Hydraulique	La force des vagues d'eau	Utiliser la force cinétique de mouvement d'eau pour produire de l'énergie électrique.	
Biomasse	biomasse	Création de la chaleur en brûlant les matière organique de nature végétale ou animale.	

III.2. Le confort thermique dans les bâtiments historiques :

Le confort thermique dans les bâtiments historiques désigne un état d'équilibre entre la température de l'air, celle des surfaces intérieures, l'humidité ambiante et la ventilation, permettant d'assurer le bien-être des occupants, tout en respectant les particularités de conservation de ces édifices patrimoniaux (anabf.org, 2023).

- Température de l'air intérieur : paramètre central influençant la sensation de confort thermique.
- Température des surfaces (murs, planchers, plafonds) : impacte les échanges radiatifs et le ressenti thermique.
- L'humidité relative : joue un rôle dans la régulation thermique corporelle et la sensation de confort.
- Taux de ventilation / renouvellement de l'air : assure la qualité de l'air et évite les excès d'humidité ou de chaleur.
- Bien-être thermique des occupants : objectif final du confort thermique, lié aux perceptions humaines et à l'adaptation physiologique.

Donc, le confort thermique dans les bâtiments historiques fait référence à la capacité de ces structures à maintenir une température intérieure agréable pour leurs occupants, tout en prenant en compte les particularités de l'architecture ancienne.

III.2.1. Confort hivernal :

En hiver, l'objectif est de minimiser les déperditions de chaleur tout en conservant l'authenticité des bâtiments. Pour cela, il faut suivre les stratégies de chaud, basées sur les principes de la conception solaire passive, permettent d'optimiser la gestion de l'énergie dans les bâtiments anciens ou modernes, tout en s'inscrivant dans une logique de développement durable. Qui sont les suivant (www.alec-grenoble.org, 2023):

Capter les rayonnements solaires : Il s'agit de maximiser l'entrée des rayons solaires dans le bâtiment (l'ensoleillement naturel), en particulier à travers les surfaces vitrées comme les fenêtres et les baies vitrées orientées au sud.

Stocker : Absorber et stocker l'énergie thermique captée pour une utilisation différée, notamment pendant la nuit ou lors de périodes sans soleil. Les matériaux à forte capacité

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

thermique (comme la pierre, la brique ou le béton) jouent un rôle crucial en accumulant la chaleur. Ces matériaux, intégrés dans les murs ou les planchers, absorbent l'énergie solaire et la restituent lentement, assurant ainsi une température confortable à l'intérieur même après le coucher du soleil.

Distribuer : La chaleur captée et stockée doit être distribuée de manière homogène dans les différentes zones du bâtiment pour assurer un confort thermique optimal. Cela peut être réalisé par des moyens naturels (la circulation de l'air) ou à l'aide de systèmes de chauffage d'appoint si nécessaire.

Conserver : Cette étape consiste à éviter les pertes thermiques et maintenir la chaleur à l'intérieur du bâtiment le plus longtemps possible.

Le schéma suivant illustre les stratégies à suivre pendant l'hiver :

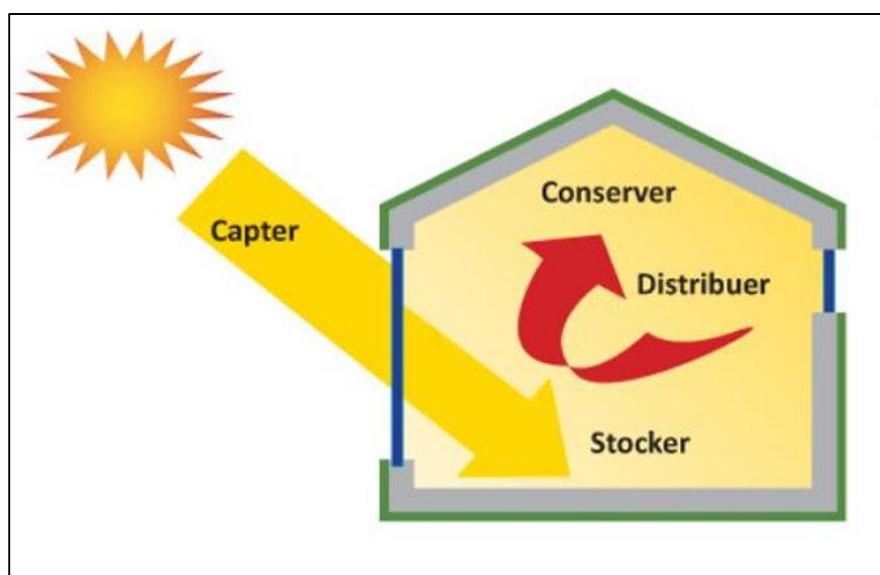


Figure 26 : Les stratégies d'hiver (<https://www.biffsa.com/e-learning>).

III2.2. Confort estival :

En été, la gestion de la chaleur excessive repose sur la capacité des bâtiments anciens à favoriser une ventilation naturelle. L'inertie thermique des matériaux joue également un rôle en retardant la montée des températures intérieures.

Pour éviter la surchauffe, il existe plusieurs stratégies à suivre, qui sont les suivantes (www.alec-grenoble.org, 2023):

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

Protéger (Éviter les gains solaires) : La première stratégie consiste à empêcher les rayons solaires directs de pénétrer dans le bâtiment pour réduire l'échauffement des façades et des surfaces vitrées, limitant ainsi l'accumulation de chaleur à l'intérieur.

Éviter (Empêcher le transfert de chaleur vers l'intérieur) : La deuxième étape vise à empêcher la chaleur extérieure d'entrer tout en maintenant un environnement intérieur frais.

Dissiper (Ventiler pour évacuer la chaleur) : Ventiler efficacement les espaces intérieurs permet d'évacuer l'air chaud et d'assurer un renouvellement d'air, ce qui aide à maintenir des températures plus agréables à l'intérieur du bâtiment.

Rafraîchir (Apporter la fraîcheur) : Utiliser des dispositifs naturels ou mécaniques pour introduire de l'air frais à l'intérieur. Cela peut inclure des systèmes de refroidissement passif comme la ventilation croisée ou l'utilisation de dispositifs mécaniques comme des ventilateurs.

Minimiser (Réduire les sources internes de chaleur) : Réduire l'utilisation de sources internes de chaleur, comme l'éclairage artificiel ou les équipements électriques, qui peuvent contribuer à l'augmentation de la température intérieure. Cela permet d'alléger la charge thermique.

Le schéma suivant illustre les stratégies à suivre pendant l'été :

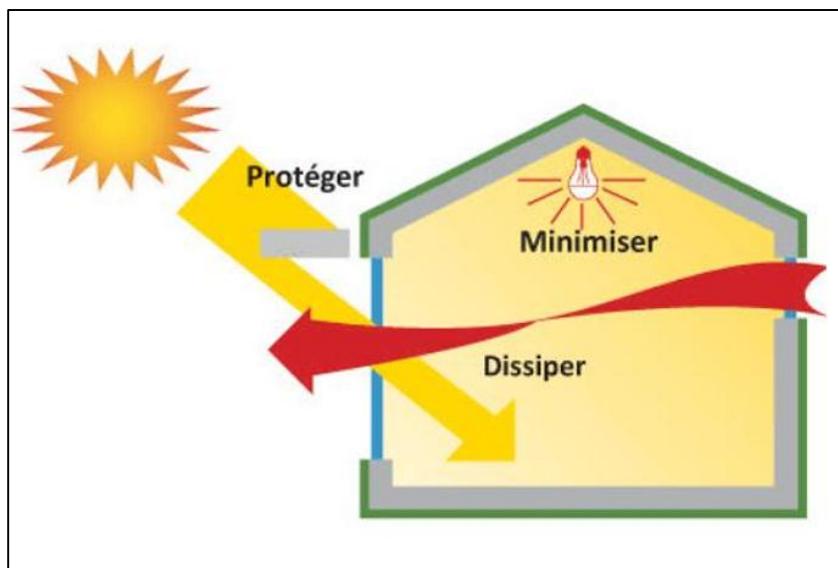


Figure 27 : Les stratégies d'été (<https://www.biffsa.com/e-learning>).

III.3. Les objectifs de la réhabilitation énergétique :

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

Le schéma ci-dessous résumant les objectifs de la réhabilitation énergétique.

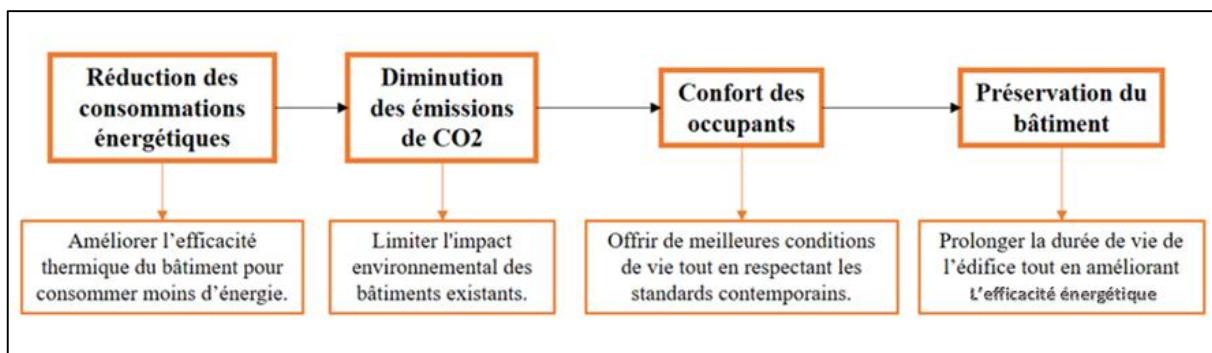


Figure 28 : Objectifs de la réhabilitation énergétique (Auteur 2025).

III.3.1. Réduction des consommations énergétiques :

Améliorer l'efficacité thermique pour consommer moins d'énergie (www.ecologie.fr, 2020).

Exemple :

- Isolation des murs, des combles ou des planchers pour limiter les pertes de chaleur.
- Installation de fenêtres à double vitrage.
- Remplacement d'un chauffage électrique par une pompe à chaleur.

III.3.2. Diminution des émissions de CO₂ :

Réduire l'impact environnemental. Cet objet lien avec l'étape précédente, moins on consomme d'énergie, moins on génère d'émissions de gaz à effet de serre (www.ademe.fr, 2021).

Exemple :

- Utiliser des énergies renouvelables (panneaux solaires, chaudières à biomasse).
- Réduire les besoins en chauffage grâce à une bonne étanchéité.

III.3.3. Confort des occupants :

Améliorer les conditions de vie (température stable, air sain, etc.) en respectant les normes actuelles (www.cstb.fr, 2019).

Exemple :

- Installer une ventilation mécanique contrôlée (VMC) pour une meilleure qualité d'air.
- Réguler la température intérieure pour éviter les surchauffes ou l'humidité.

III.3.4. Préservation du bâtiment :

Prolonger la durée de vie du bâtiment, sans compromettre sa valeur patrimoniale (www.cerema.fr, 2020).

Exemple :

- Rénover sans détériorer les éléments historiques (murs en pierre, boiseries, fresques).
- Protéger le bâti ancien contre les dégâts liés à l'humidité (moisissures, salpêtre) par une bonne gestion hygrothermique

III.4. Enjeux et critères de la réhabilitation énergétique :

Cette opération doit répondre aux plusieurs critères à savoir :

III.4.1. Enjeux environnementaux (www.ademe.fr, 2021):

- **Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)** : Le secteur du bâtiment est responsable d'environ 25 % des émissions de GES. Réduire les consommations énergétiques diminue directement ces émissions.
- **Lutte contre le changement climatique** : Une meilleure efficacité énergétique contribue à la transition écologique et aux engagements climatiques nationaux (Stratégie Nationale Bas-Carbone).
- **Préservation des ressources naturelles** : Réduire la demande énergétique limite l'exploitation des ressources fossiles et promeut les énergies renouvelables.

III.4.2. Enjeux économiques (www.cerema.fr, 2020):

- **Réduction des factures énergétiques** : Une meilleure isolation et des équipements performants permettent aux occupants de faire des économies à long terme.
- **Création d'emplois** : La rénovation énergétique mobilise de nombreux corps de métier (artisans, thermiciens, architectes).
- **Valorisation du patrimoine immobilier** : Un bien rénové énergétiquement prend de la valeur sur le marché immobilier, surtout s'il reste conforme à son identité historique.

III.4.3. Enjeux sociaux (www.ecologie.fr, 2020):

- **Confort thermique :** Offrir une température intérieure stable, réduire les sensations de froid ou de surchauffe.
- **Qualité de vie :** Amélioration de la qualité de l'air, réduction de l'humidité, réduction des bruits extérieurs.
- **Adaptation aux profils des ménages :** La rénovation doit être inclusive, accessible financièrement, et adaptée aux besoins des habitants (personnes âgées, familles...etc).

III4.4. Défis techniques (www.cerema.f, 2022):

- **Isolation :**

- Choisir des matériaux compatibles avec l'existant (chaux, laine de bois, liège... etc).
- Préserver les éléments architecturaux (moulures, poutres, pierres apparentes).
- Éviter les ponts thermiques sans détériorer les structures.

- **Chauffage :**

- Remplacement des systèmes de chauffage anciens par des systèmes plus efficace et moins énergivores.
- Adapter les systèmes aux spécificités des volumes anciens (hauteur sous plafond, inertie thermique).

- **Ventilation :**

- Installer une ventilation mécanique adaptée (VMC simple ou double flux) pour assurer un air sain.
- Amélioration de la qualité de l'air intérieur tout en préservant l'étanchéité à l'air.

III4.5. Contraintes réglementaires et normatives (www.culture.gouv.fr, Ministère de la Culture, 2021):

- **Réglementation thermique :**

- Adaptation des exigences réglementaires aux bâtiments anciens.
- Il est nécessaire d'adapter les solutions techniques pour respecter la structure et les matériaux d'origine.

- **Protection du patrimoine :**

- Respect des règles de conservation et de restauration des monuments historiques.

- Obligation de conserver les matériaux et éléments d'origine ou d'utiliser des matériaux compatibles.

III.5. Les Défis de la Réhabilitation Énergétique des Bâtiments Patrimoniaux :

Lorsqu'il s'agit de réhabiliter énergétiquement des bâtiments patrimoniaux, plusieurs précautions sont nécessaires afin de ne pas altérer leur valeur historique et architecturale. La conservation du patrimoine impose de respecter l'intégrité architecturale et culturelle d'un bâtiment tout en améliorant l'efficacité énergétique.

Parmi les principaux défis :

III.5.1. Compatibilité des matériaux et techniques :

Les matériaux modernes utilisés pour l'isolation, les fenêtres ou les systèmes énergétiques doivent s'intégrer harmonieusement dans le cadre d'un bâtiment ancien sans nuire à son esthétique ou à sa structure (BENRABAH, 2023, p. 22).

III.5.1.1. Définition et enjeux :

Dans le cadre de la réhabilitation énergétique des bâtiments patrimoniaux, la notion de compatibilité des matériaux renvoie à la capacité d'intégrer des matériaux ou systèmes modernes sans compromettre l'intégrité physique, architecturale, fonctionnelle ou esthétique du bâti existant.

Il s'agit d'un enjeu central dans tout projet de rénovation à caractère patrimonial, car les matériaux anciens répondent à des logiques constructives, à des équilibres hygrométriques et à des contraintes mécaniques très différentes de celles des matériaux contemporains (Charte de Venise, 1964, p. 10).

La compatibilité technique concerne notamment :

- La perméabilité à la vapeur d'eau (évacuation de l'humidité).
- Les coefficients de dilatation.
- Les propriétés thermiques et acoustiques.
- La réversibilité et l'impact visuel de l'intervention.

Comme le souligne Feilden (2003), « toute intervention sur un bâtiment ancien devrait se faire dans une logique de respect de la matière et de la forme originale, en s'appuyant sur des matériaux qui partagent les mêmes propriétés fondamentales que ceux d'origine » (Feilden, 2003, p. 45).

III.5.1.2. Les caractéristiques spécifiques du bâti ancien :

Les bâtiments patrimoniaux sont souvent constitués de matériaux naturels dits « ouverts » à la diffusion de vapeur : briques pleines, terre crue, enduits à la chaux, charpentes en bois massif, ...etc. Ces matériaux assurent un équilibre hygroscopique, autrement dit, ils laissent passer l'humidité de manière contrôlée, garantissant ainsi une bonne conservation de la structure (Nallet, 2015, p. 78).

Exemple :

Un mur en pierre de 60 cm d'épaisseur, enduit à la chaux, possède une inertie thermique élevée, un bon comportement hygrothermique. Ajouter une couche d'isolant moderne non respirant (ex : polystyrène expansé) peut empêcher cette respiration, provoquer une condensation interstitielle et, à terme, détériorer l'enduit ou la maçonnerie.

III.5.1.3. Les risques d'incompatibilité :

- Condensation et moisissures dues à l'étanchéité excessive des parois.
- Éclatement d'enduits ou décollement de peintures.
- Altération des performances mécaniques, notamment si les matériaux réagissent différemment à la sollicitation de dilatation thermique.
- Incompatibilité visuelle ou altération de l'esthétique du bâtiment (pose de panneaux isolants visibles, fenêtres PVC, etc.).

Exemple :

Dans un immeuble haussmannien à Paris, la pose d'un doublage intérieur en placo-isolant avec pare-vapeur sur un mur en brique a entraîné l'apparition de taches d'humidité et de moisissures, car l'humidité n'était plus évacuée naturellement (www.inha.fr, 2020).

III.5.1.4. Principes d'intervention compatibles :

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

L'objectif est d'introduire des solutions discrètes, réversibles et compatibles avec les matériaux anciens.

a) Matériaux recommandés (Fabbri, 2017, p. 60):

- Enduits à la chaux naturelle (permettent la diffusion de vapeur).
- Isolants avec (fibre de bois, chanvre, liège, ouate de cellulose).
- Fenêtres en bois double vitrage à profils fins, reproduisant l'apparence d'origine.
- Mortiers compatibles (éviter les mortiers au ciment, trop rigides).
- Peintures minérales à base de silicate.

b) Techniques adaptées (Cerema , 2021, p. 40):

- Isolation par l'intérieur avec frein-vapeur hygrovariable.
- Systèmes de ventilation performants et discrets (VMC double flux à récupération de chaleur).
- Intégration de systèmes techniques (planchers chauffants, ...etc.) de manière non intrusive, en respectant les circulations et les éléments d'ornementation.

III.5.1.5. Compatibilité esthétique et réversibilité :

Selon la Charte de Venise (1964), toute intervention doit respecter « *l'aspect formel et le décor des bâtiments anciens* ». Ainsi, les ajouts contemporains doivent être soit invisibles, soit clairement distingués sans dominer l'édifice. Notion de réversibilité (openarchive.icomos.org, 2005, p. 8).

Les interventions doivent pouvoir être retirées sans détériorer l'existant. Cela implique de (Ibid.) :

- Ne pas percer les murs porteurs inutilement,
- Éviter les colles ou fixations irréversibles,
- Préserver les volumes intérieurs, les planchers et plafonds historiques.

III.5.2. Conservation des éléments architecturaux :

Les caractéristiques telles que les façades, les décos intérieures, ou les toitures peuvent être protégées par des réglementations strictes, rendant les interventions plus complexes (BENRABAH, 2023, p. 22).

III.5.2.1. Définition :

La conservation des éléments architecturaux désigne l'ensemble des démarches visant à préserver l'authenticité formelle, matérielle et constructive des composants significatifs d'un édifice patrimonial. Ces éléments incluent les façades, menuiseries, toitures, ornementations, systèmes structurels et parfois des éléments intérieurs tels que les escaliers, moulures ou plafonds peints. Cette conservation s'inscrit dans une logique de transmission culturelle, de mémoire matérielle et de valeur architecturale (Feilden, B.M, 2003, p. 59).

Elle s'appuie sur les principes fondamentaux définis dans la Charte de Venise (1964), notamment l'article 9, qui interdit les ajouts qui faussent l'interprétation historique du bâtiment. Toute intervention doit respecter le principe de lisibilité, de réversibilité et de minimalisme technique, afin de ne pas altérer la structure originelle (Charte de Venise (1964), articles 9 à 12.).

III.5.2.2. Nature des éléments architecturaux à conserver :

Les éléments architecturaux d'un bâtiment patrimonial sont classés selon leur valeur esthétique, historique, technique ou symbolique. On distingue (www.cerema.fr, 2020, p. 38):

- **Les enveloppes extérieures** : façades, modénatures, encadrements, maçonneries en pierre de taille, enduits anciens à la chaux, éléments en fer forgé ou en bois.
- **Les toitures** : charpentes traditionnelles, tuiles canal, ardoises, lucarnes, épis de faîtage.
- **Les dispositifs de menuiserie** : portes, fenêtres, jalousies ou volets, souvent porteurs d'un savoir-faire artisanal (menuiserie à embrasure, vitraux plombés, ferronneries).
- **Les intérieurs d'intérêt patrimonial** : escaliers en pierre, sols en terre cuite, fresques murales, plafonds à poutres apparentes.

Le diagnostic architectural préalable est indispensable pour identifier les éléments classés, protégés ou jugés remarquables. Il repose sur une lecture stratigraphique des composants et une analyse pathologique de leur état de conservation (Brocato, F., & Aveni, A., 2015, p. 77).

III.5.2.3. Luttes entre conservation architecturale et réhabilitation énergétique :

L'un des principaux défis de la réhabilitation énergétique est de concilier l'efficacité thermique et préservation des composants d'origine. Plusieurs tensions apparaissent (www.cerema.fr, TCAU, 2021, pp. 92-97):

- **Isolation des façades** : l'isolation par l'extérieur est souvent exclue sur des murs en pierre apparente ou enduits historiques, car elle masque les modénatrices, détruit les relations de proportion et bloque les échanges d'humidité.
- **Remplacement des fenêtres** : les menuiseries anciennes (souvent à simple vitrage et châssis bois) sont souvent remplacées pour des raisons thermiques, mais cela implique la perte de détails décoratifs et de profils historiques.
- **Intégration des réseaux CVC (Chauffage, Ventilation, Climatisation)** : l'installation de gaines ou de climatiseurs entraîne des perforations dans les murs anciens ou des interventions invasives dans les plafonds et charpentes, contraire à l'esprit de conservation.

Ces luttes doivent être arbitrées par des solutions techniques compatibles (ex. : double vitrage intégré dans des menuiseries anciennes restaurées) et par le recours à des matériaux réversibles et non invasifs (isolants en doublage intérieur).

III.5.2.4. Approches méthodologiques et techniques :

La conservation architecturale s'appuie sur des méthodologies structurées (Petzet, M., 2004, pp. 21-28):

- **Principe de la restauration minimale** : n'intervenir que sur les parties dégradées, et par des matériaux similaires.
- **Relevé archéologique et stratigraphique** : compréhension des phases constructives pour hiérarchiser les éléments à préserver.
- **Techniques douces** : nettoyage par micro-sablage, consolidation par résines réversibles, isolation par enduits thermiques à la chaux.
- **Réversibilité et lisibilité** : les interventions modernes doivent être identifiables, et imiter le style ancien.

III.5.3. Contraintes réglementaires :

La réhabilitation des bâtiments patrimoniaux doit se conformer aux lois sur la protection du patrimoine, ce qui peut limiter les options disponibles pour les rénovations énergétiques (BENRABAH, 2023, p. 22).

III.5.3.1. Cadre juridique de la protection du patrimoine culturel :

La **loi n°98-04 du 15 juin 1998** constitue le fondement juridique principal en matière de protection du patrimoine culturel en Algérie (Mazouz, 2015, p. 157).

Elle définit le patrimoine culturel national et établit les règles générales pour sa protection, sa sauvegarde et sa mise en valeur (www.joradp.dz, 1998).

Cette loi impose des restrictions sur les interventions susceptibles d'altérer l'intégrité des biens culturels, notamment les bâtiments historiques.

III.5.3.2. Réglementation en matière d'urbanisme et de construction :

La **Loi n° 90-29 du 1er décembre 1990** relative à l'aménagement et à l'urbanisme encadre les activités de construction et de réhabilitation. Elle stipule que toute intervention sur le bâti doit respecter les instruments d'urbanisme en vigueur, tels que le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le Plan d'Occupation des Sols (POS) (Akli, Kezzar Med, 2023).

Ces plans peuvent inclure des prescriptions spécifiques pour les zones à caractère historique ou culturel.

III.5.3.3. Procédures administratives et autorisations nécessaires :

Toute intervention sur un bâtiment patrimonial nécessite l'obtention de diverses autorisations administratives, notamment :

- **Permis de construire** : requis pour toute modification substantielle de la structure ou de l'apparence extérieure du bâtiment.

- **Certificat d'urbanisme** : fournit des informations sur les règles d'urbanisme applicables au terrain concerné.
- **Permis de démolir** : nécessaire en cas de démolition partielle ou totale d'un bâtiment, même si celle-ci est suivie d'une reconstruction.

Ces autorisations sont délivrées conformément aux dispositions du Décret exécutif n° 15-19 du 25 janvier 2015, qui fixe les modalités d'instruction et de délivrance des actes d'urbanisme (DECRET, 2015, p. 04).

III6. Exemple d'application des solutions proposées :

La résidence « Mont blanc » à Lyon en France. Ce projet présente une réhabilitation énergétique qui consiste à l'isolation thermique des bâtiments par l'extérieur afin de préserver et accentuer l'identité architecturale de ce patrimoine.



Figure 29 : Etat initial du Résidence Le Mont-Blanc (SGORBINI, 2013, p. 4).

La résidence le Mont –blanc est comme un fragment de « villes moderne », elle fait l'objet d'une réhabilitation énergétique d'un immeuble monumental de R+13 ayant 2 façades, elle vise à travers cette intervention à renforcer l'isolation thermique et améliorer à la fois le confort et l'aspect patrimonial de l'édifice.

III6.1. La situation :

La résidence le Mont-blanc est située à Sainte-Foy-les Lyon, rue Valioud au Sud-Ouest de Lyon, France. Elle est composée de deux immeubles monumentaux.

Le bâtiment est construit en 1950, par les architectes Carpe, Gages, Grimal et Tourret, la fonction du bâtiment résidentielle.



Figure 30 : Situation de la résidence le Mont Blanc par Rapport à la France (Google map).



Figure 31 : Les deux immeubles de la résidence Mont Blanc (Google map, traitée par auteur, 2025).

III.6.2. L'orientation :

Le bâtiment de la résidence « le Mont-blanc » est orienté Est-Ouest.

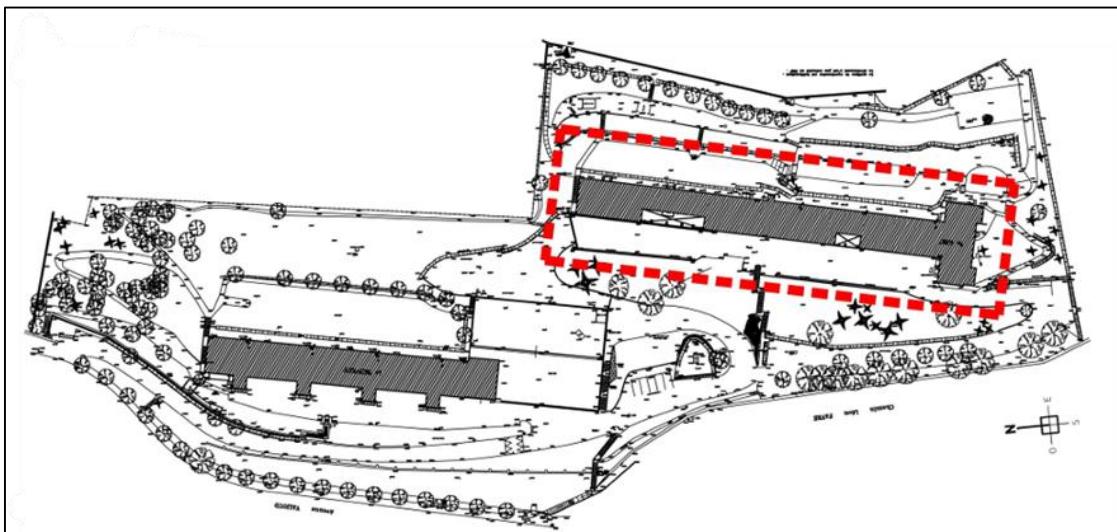


Figure 32 : Plan de masse (SGORBINI, 2013, p. 6).

III.6.3. Environnement immédiat :

La résidence « Mont-Blanc » est disposée entre des bosquets d'arbres. L'échelle monumentale de la résidence en fait un objet incontournable dans le paysage.



Figure 33 : Environnement immédiat de la résidence « Mont-Blanc » (Google earth, traitée par auteur, 2025).

Relief de bâtiment est posé sur un terrain en pente.

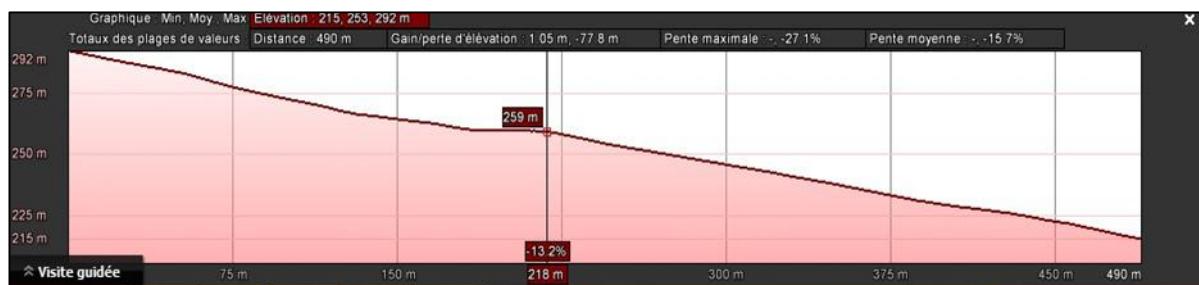


Figure 34 : Le relief de la résidence « Mont-Blanc » (Google earth, traitée par auteur, 2025).

III.6.4. Système constructif :

Le système constructif est de type poteau-dalle.

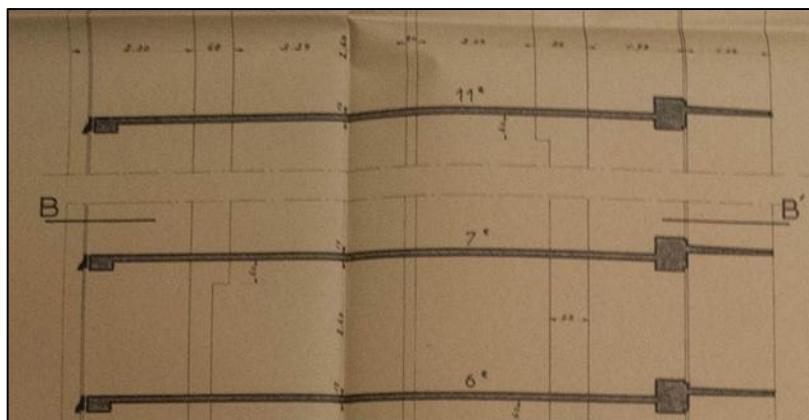


Figure 35 : Coupe montrant la structure de l'immeuble de la résidence « Mont-Blanc » (SGORBINI, 2013, p. 4).

III.6.5. Ensoleillement :

La façade sud-est est ensoleillée en début de journée, la façade sud-ouest à midi et la façade nord-ouest en fin de journée.

Le bâtiment est exposé aux vents venant du Nord en hiver et du Sud en été.

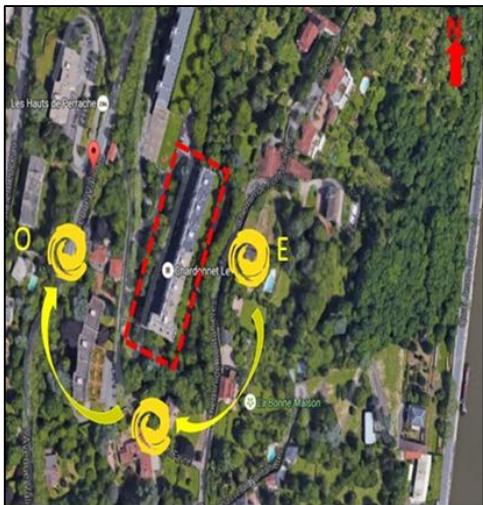


Figure 36 : L'ensoleillement de l'immeuble (Google earth, traitée par auteur, 2025).



Figure 37 : Les vents dominants que subit le bâtiment (Google earth, traitée par auteur, 2025).

III.6.6. Données climatiques :

Zone climatique : le climat de Lyon est qualifié de semi-continental dans lequel les précipitations sont plus importantes en été qu'en hiver. Les étés sont chauds et secs. Les hivers sont froids (MétéoFrance, 2024).

Précipitations et température : le mois le plus chaud est juillet avec une température de 27.7 °C. Le mois avec les plus grandes précipitations est octobre avec 100 mm (MétéoFrance, 2024).

Ensoleillement de Lyon : le mois le plus ensoleillé est juillet, avec 283h d'ensoleillement. Le mois le moins ensoleillé est décembre avec 54.5h d'ensoleillement (MétéoFrance, 2024).

Vents dominants : les vents dominants y soufflent du Nord en hiver et du Sud en été (MétéoFrance, 2024).

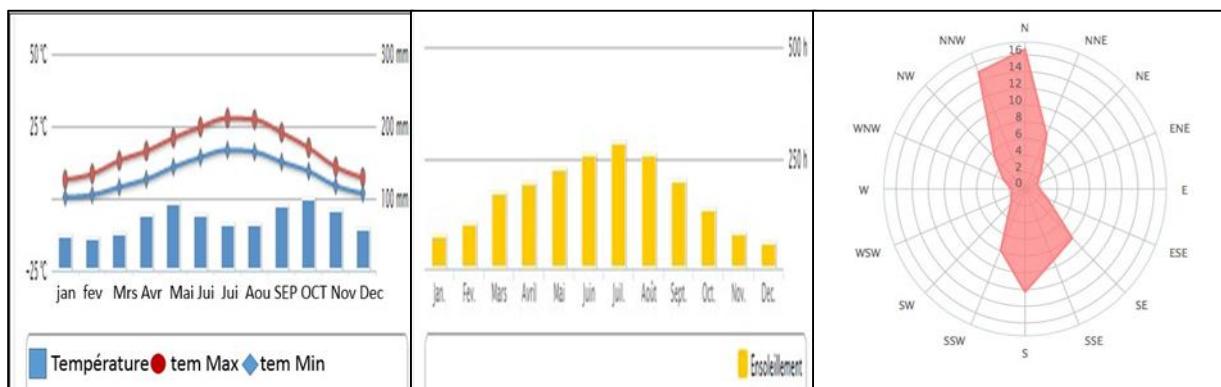


Figure 38 : Précipitations par mois pour la ville de Lyon (MétéoFrance, 2024).

Figure 39 : Ensoleillement par mois pour la ville de Lyon (MétéoFrance, 2024).

Figure 40 : Rose des vents de Lyon (MétéoFrance, 2024).

III.6.7. Les enjeux :

- Amélioration de l'efficacité thermique de la façade Ouest, elle porte à la fois sur (SGORBINI, 2013, p. 02):
 - L'efficacité thermique intrinsèque des menuiseries (qualité du vitrage, de la lame d'air, du montage, du profil utilisé). Et le remplacement de 680 fenêtres.
 - l'étanchéité à l'air du montage des châssis neufs dans les berceaux acier existants.
 - la performance thermique du doublage isolant rapporté sur la façade et son homogénéité (nature, épaisseur, mise en œuvre).
 - l'optimisation des déperditions dues à la mise en service d'une ventilation mécanique contrôlée.
- Amélioration du confort intérieur des logements.
- Requalification architecturale de la résidence sur laquelle aucune intervention significative n'a été menée depuis la construction.
- Arrêt de la spirale de dévalorisation foncière déjà constatée depuis quelques années.

III.6.8. Problèmes et solutions :

➤ Problèmes :

Les travaux de réhabilitation énergétique ont commencés en 2012, ils consistent à traité les problèmes suivants (SGORBINI, 2013, p. 07):

- Transferts d'humidité dans les murs extérieurs dont les origines de cette présence d'humidité sont Les intempéries car le revêtement extérieur est détérioré et mal isolé.

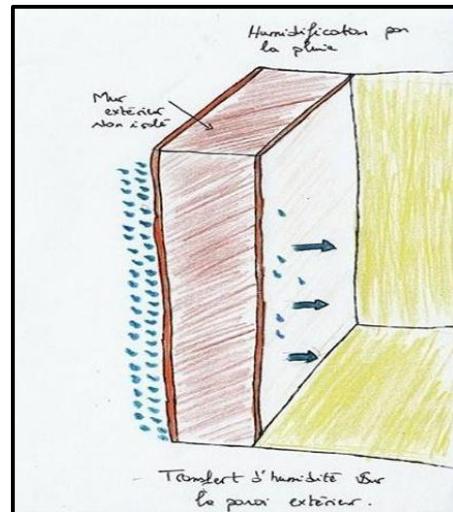


Figure 41 : Transfert d'humidité (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).

- L'effet des parois froides dans les logements car les murs extérieurs sont mal isolés, et ils s'imprègnent de la température extérieure. De fait, la température ressentie dans la pièce se rafraîchi.

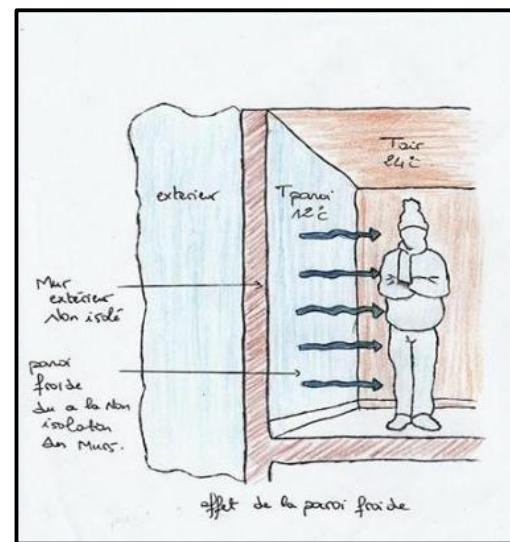


Figure 42 : Effet de paroi froide (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).

- Présence de ponts thermiques au niveau des murs extérieurs-planchers intermédiaires où l'isolation n'est pas continue et qui provoquent des pertes de chaleurs.

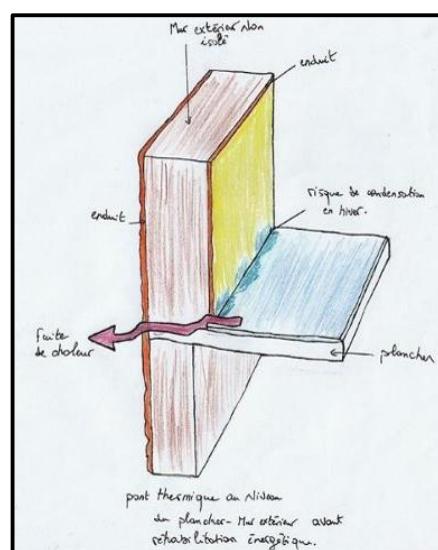


Figure 43 : Pont thermique (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).

✓ **Solution :**

La solution retenue pour traiter les problèmes précédents était de mettre en œuvre une isolation thermique par l'extérieur des murs de la façade Ouest et les pignons par la mise en place d'un panneau composite à base de fibre de ciment teinté dans la masse et un isolant de panneau rigide de laine de verre d'une épaisseur de 2 cm avec une fixation métallique (SGORBINI, 2013, p. 17).

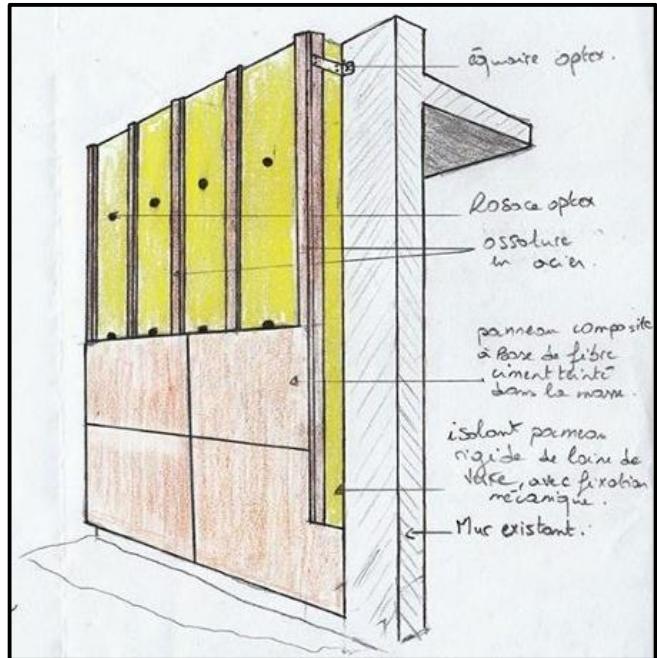


Figure 44 : Isolation thermique par l'extérieur (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).

➤ **Problèmes :**

- Défaut d'étanchéité à l'air et à l'eau des fenêtres dus à la déformation du châssis dans le temps, accentue les risques de fuites d'air et d'eau à cet endroit.
- Présence de ponts thermiques au niveau des fenêtres et absence d'occultation sur la façade Ouest.
- Présence de condensation sur les vitrages. Elles se manifestent au droit des ponts thermiques (linteaux... etc.).

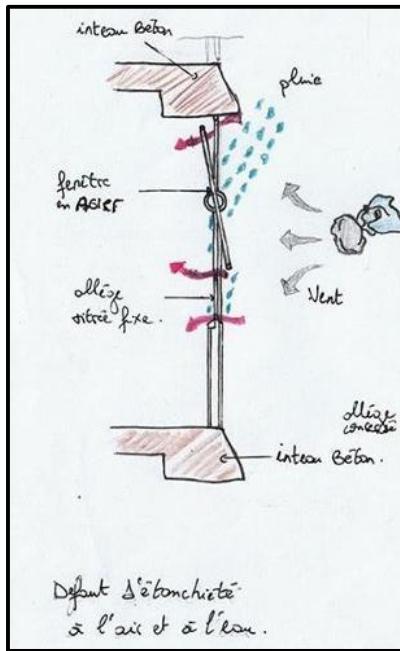


Figure 45 : Défaut d'étanchéité au niveau des fenêtres (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).

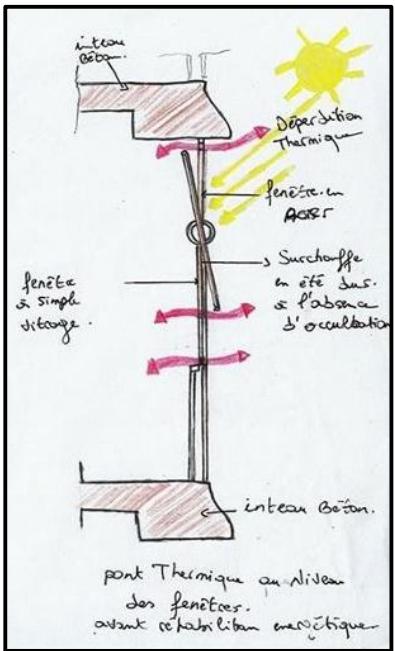


Figure 46 : Pont thermique au niveau des fenêtres (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).



Figure 47 : Condensation sur les vitrages (SGORBINI, 2013, p. 02).

✓ Solutions :

La solution retenue pour traiter les problèmes précédents était par la mise en œuvre des menuiseries aluminium à rupture de pont thermique et vitrages performant et une installation des volets roulants orientables permettant de lutter efficacement contre les surchauffes d'été en façade ouest.



Figure 48 : Vue sur les fenêtres après réhabilitation énergétique (SGORBINI, 2013, p. 21).

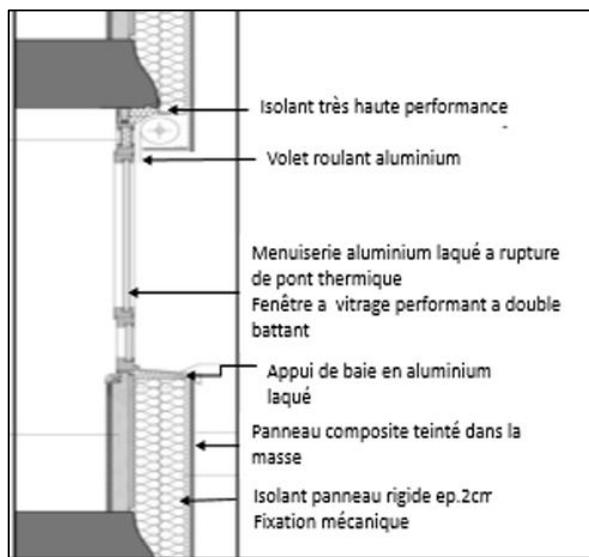


Figure 49 : Coupe d'une fenêtre montrant le volet roulant orientable et le vitrage performant (SGORBINI, 2013, p. 21).

➤ **Problème :**

Présence de ponts thermiques au niveau des portes d'entrées.

✓ **Solution :**

La solution retenue pour lutter contre les fuites de chaleurs situées au niveau des portes d'entrées est par la mise en place des seuils suisses afin de se protéger de tout risque de froid et des courants d'airs (SGORBINI, 2013, p. 02).

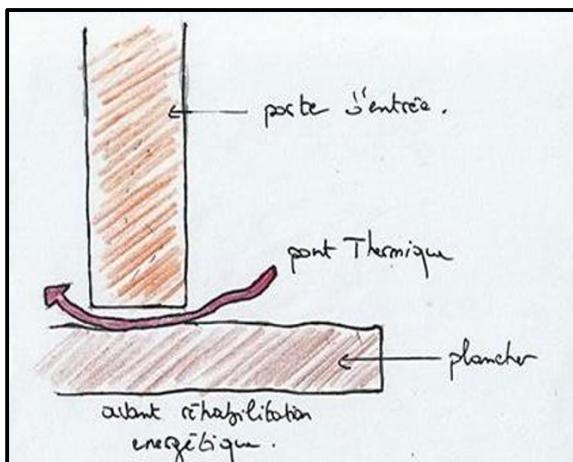


Figure 50 : Schéma de pont thermique au niveau d'une porte d'entrée
(<https://urlz.fr/urtL>, Repris par auteur 2025).

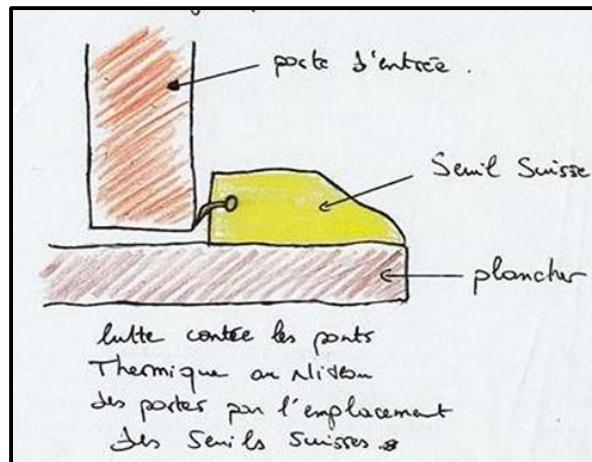


Figure 51 : Schéma de seuil suisse pour lutter contre les ponts thermiques
(<https://urlz.fr/urtL>, Repris par auteur 2025).

➤ **Problème :**

le problème de la perception des souches maçonnées qui constellent les terrasses.

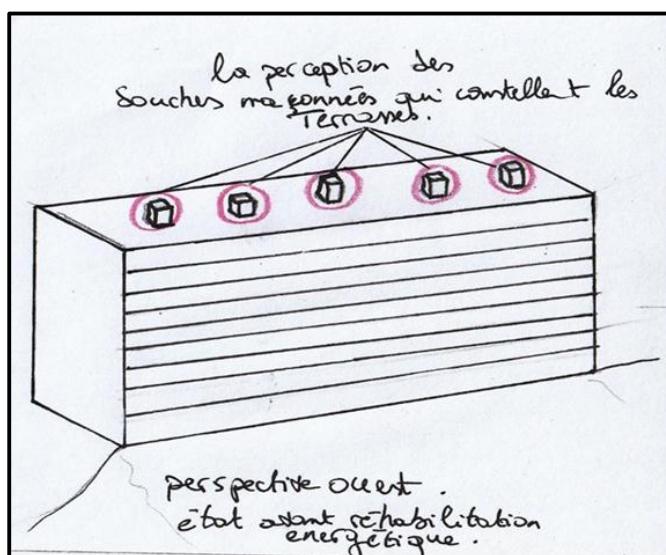


Figure 52 : Perception des souches maçonnées qui constellent la terrasse (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).

✓ **Solution :**

La solution retenue pour minimiser les perceptions des souches est par la remontée d'acrotère d'une hauteur importante afin de jouer à la fois le rôle de garde-corps et d'écran visuel.

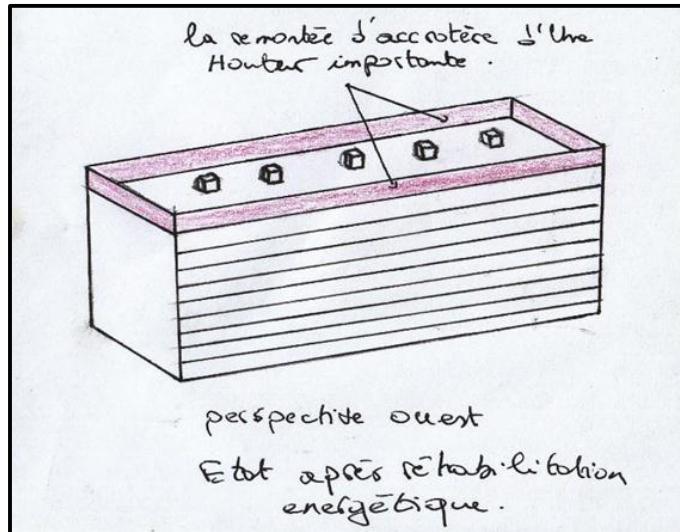


Figure 53 : Etat après réhabilitation énergétique (SGORBINI, 2013), (Repris par auteur 2025).

III.6.9. Les problèmes rencontrés lors des travaux de réhabilitation (SGORBINI, 2013, p. 11) :

- La nécessité d'intervenir en façade depuis l'extérieur des logements.
- La présence d'aménagements intérieurs au droit des menuiseries de cuisine (cuisine équipée, plan de travail ...).
- Les modifications de typologie au fil du temps (cuisine transformée en chambre, cuisine ouverte sur séjour ...).
- Les variations techniques au fil des tranches successives de la construction.
- Les défauts de la maçonnerie (faux-aplomb, flèche des dalles ...).
- La nécessité de reprendre tous les efforts aux vents et à la poussée sur la trame de structure primaire mise en place.

III.6.10. Etat après réhabilitation énergétique (résultat) (SGORBINI, 2013, p. 11) :

Isolation thermique par l'extérieur à l'aide d'un matériau composite à base de fibres de ciment teinté dans la masse. C'est un matériau à large choix de fabricants permettant d'optimiser le cout avec une large palette de couleurs, robuste et durable.

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

Réglage des apports solaires d'après-midi via les volets roulants et suppression de la condensation sur les vitrages ainsi que les flux d'airs parasites par la mise en œuvre des menuiseries en aluminium dont Les couleurs des profils intérieur et extérieur peuvent être différentes Ce qui permet de gérer à la fois et sans contrainte réciproque :

- La dimension domestique (l'intérieur) une couleur consensuelle peut être choisie de façon à respecter les choix de décoration des copropriétaires.
- La dimension urbanistique et architecturale une ou plusieurs couleurs peuvent être choisies pour améliorer la lisibilité de la façade, renforcer le parti architectural et prendre en compte les caractéristiques des Bâtiments de France.

Installation d'une ventilation mécanique.

L'expression architecturale proposée, met en valeur l'échelle monumentale du bâtiment en la structurant en séquences de grandes échelles qui correspondent quasiment chacune à un immeuble de logements de taille courante.



Figure 54 : Les sept séquences du bâtiment (SGORBINI, 2013, p. 19).



Figure 55 : Vue sur la façade Ouest avant réhabilitation énergétique (SGORBINI, 2013, p. 05).



Figure 56 : Vue sur l'immeuble de la résidence le Mont-Blanc après réhabilitation énergétique (SGORBINI, 2013, p. 24).

Le projet de réhabilitation de l'immeuble de la résidence le Mont-blanc vise à :

- La mise en valeur de l'échelle monumentale du bâtiment.
- La valorisation du patrimoine architectural en reproduisant et affirmant le caractère monumental du bâtiment en divisant la façade en 07 grands panneaux en extrudant de grands volumes en encorbellement sur la trame d'origine qui joue ainsi le rôle de toile de fond du projet.
- Le respect de l'environnement et de l'identité architectural au sein de la résidence le Mont Blanc.
- La réhabilitation énergétique de l'immeuble représente un enjeu très important dans la maîtrise des dépenses énergétiques et dans l'amélioration du confort des logements.
- la valorisation croisée entre l'efficacité énergétique et patrimoine bâti.
- Sensibilisation des résidents sur la question énergétique pour garantir une faible consommation au sein de leurs logements par une formation simple expliquant les gestes de bonnes conduites les axes principaux sont :
 - La réaction des bâtiments face au climat.
 - Le confort au sein de la résidence.

Chapitre III Les solutions et les défis majeurs de la réhabilitation énergétique

- L'utilisation faible consommation des locaux.
 - La gestion de l'eau.
-
- L'économie d'énergie s'élève à 32 %.
 - La réhabilitation énergétique de l'immeuble est passée de la catégorie D avec une consommation de 197 kWh/m²/an à la catégorie C avec une consommation de 133 kWh/m²/an

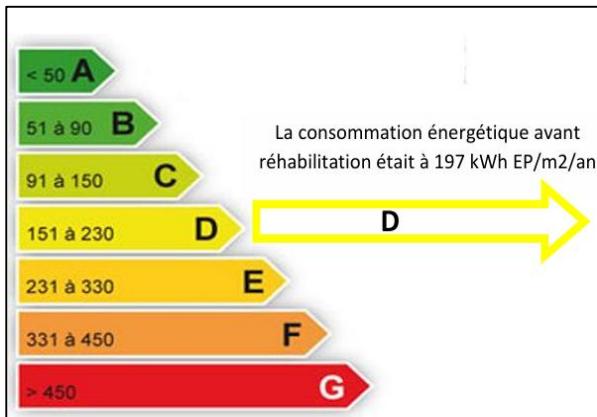


Figure 57 : Etiquette énergétique du bâtiment avant réhabilitation énergétique (SGORBINI, 2013, p. 08).

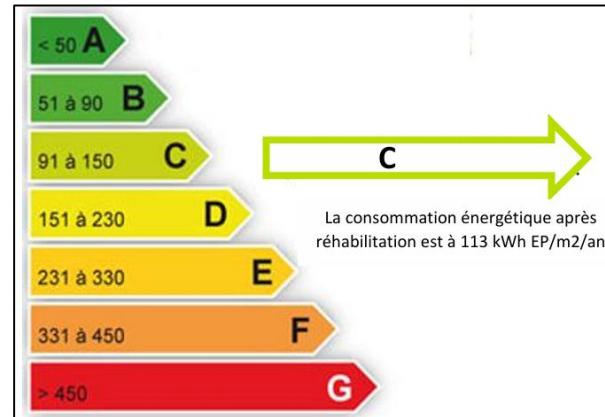


Figure 58 : Etiquette énergétique du bâtiment après réhabilitation énergétique (SGORBINI, 2013, p. 27).

Conclusion

L'un des principaux défis de la réhabilitation énergétique est de concilier l'efficacité thermique et préservation des composants d'origine. Plusieurs tensions apparaissent l'isolation par l'extérieur est souvent exclue sur des murs en pierre apparente ou enduits historiques, car elle masque les modénatrices, détruit les relations de proportion et bloque les échanges d'humidité. Les menuiseries anciennes (souvent à simple vitrage et châssis bois) sont souvent remplacées pour des raisons thermiques, mais cela implique la perte de détails décoratifs et de profils historiques. L'installation de gaines ou de climatiseurs entraîne des perforations dans les murs anciens ou des interventions invasives dans les plafonds et charpentes, contraire à l'esprit de conservation.

Ces tentatives de réhabilitation doivent être arbitrés par des solutions techniques compatibles (ex : double vitrage intégré dans des menuiseries anciennes restaurées) et par le recours à des matériaux réversibles et non invasifs (isolants en doublage intérieur). C'est dans cette optique que nous avons détaillé dans ce chapitre plusieurs solutions et nous avons démontré leur efficacité grâce à l'étude d'un exemple réel. Dans le prochain chapitre nous attaquerons alors un cas d'étude réel aussi qui nous permettra de mettre en application ces solutions et en proposer les plus adéquates.

Chapitre IV:

Cas d'étude

« Le conservatoire musical de Bejaia »

Introduction

Dans le cadre de ce mémoire consacré à l'analyse du confort thermique et des efficacités énergétiques en milieu bâti ancien, notre étude de cas porte sur un bâtiment emblématique du patrimoine architectural local : l'ancien tribunal de la vieille ville de Bejaïa. Situé au cœur d'un tissu urbain historique dense, ce bâtiment témoigne d'une époque coloniale par son style architectural et sa construction massive, en pierre, hauteurs sous plafond importantes et grandes ouvertures vitrées.

Aujourd'hui, ce bâtiment fait l'objet d'une réflexion autour de sa réhabilitation thermique, tout en respectant son identité patrimoniale. Dans un contexte de changement climatique et de besoin d'optimisation énergétique, il est devenu essentiel de comprendre le comportement thermique réel du bâtiment, pour identifier ses faiblesses, en particulier face aux phénomènes de surchauffe estivale observés dans cette région au climat méditerranéen chaud et sec.

La simulation thermique dynamique menée avec le logiciel ArchiWIZARD permet d'objectiver ces constats. Elle fournit des indicateurs précis sur les températures intérieures, les besoins en chauffage et en refroidissement, ainsi que les heures d'inconfort thermique. Cette analyse servira de base à la proposition de solutions d'amélioration compatibles avec les exigences de conservation du patrimoine, sans dénaturer la façade ni les éléments architecturaux d'origine.

IV.1. Fiche technique :



Figure 59 : Le Conservatoire musical de Bejaia (www.skyscrapercity.com, 2021).

Chapitre IV: Cas d'étude « le conservatoire musical de Bejaia »

Le nom de projet	L'ex palais de justice de Bejaia	
La fonction actuelle	Conservatoire musical de Bejaia	
Catégorie / Typologie	Monument	
Localisation	Rue Aissat Idir à proximité de la Casbah, commune de Bejaia	
Statut juridique	Public	
Date de construction	1928	
Etat de conservation	Avant était en mauvais état, mais aujourd'hui après la réhabilitation il est en bon état	
Nombre d'étage	R+1 avec entresol	
Surface totale	1170 m ²	
Occupation du sol	Partie bâti : 90%	Partie non bâti : 10%

IV.2. Description de l'édifice :

L'ancien palais de justice de Bejaia, est un chef-d'œuvre architectural d'une valeur remarquable, Imposant bâtiment où la justice était rendue face au merveilleux golf de Bejaia, une vraie œuvre d'art, que les français en su construire.

L'ex tribunal construit en 1928 par l'entrepreneur de travaux publics Sauveur Marzo.

En 1969, le bâtiment commençait à présenter quelques désordres au niveau de l'aile est qui commençait à se détacher du reste du bâtiment, ceci serait dû à des désordres dans les canalisations qui étaient corrodées. A travers le temps le problème a été encore en évolution de plus e plus, mais malheureusement malgré tous les risques que présente l'aile est, aucune mesure de sécurité n'a été prise pour empêcher son effondrement.

Le 08/03/2011 effondrement de l'aile.



Figure 60 : Fissuration de l'aile droite
(<http://rabahnaceri.unblog.fr/files/2012/03/Tribunal.jpg>)

Si le bureau d'études Yaya s'occupe de la reconstruction à l'identique de l'aile effondrée pour être ensuite aménagé en annexe des beaux-arts.



Figure 62 : L'ex tribunal de Bejaia en cours de réhabilitation (Facebook : BEJAIA INFO).

IV.3. Etude architecturale :

IV.3.1. Composition d'ensemble :

Le conservatoire musical de Bejaia se situe à proximité de la Casbah, son assiette est à l'angle du grand virage de la rue Aïssat Idir ex rue Minochet. C'est un bâtiment datant de l'époque coloniale de style néo-classique qui exprime le prestige et la force, apprécié à travers les détails fortement exprimés sur la façade.

Le projet est délimité au sud et à l'ouest par la rue Aissat Idir qui fait environs 10 mètres de largeur. Au nord il est délimité par l'hôtel des finances, et à l'est par un parking.

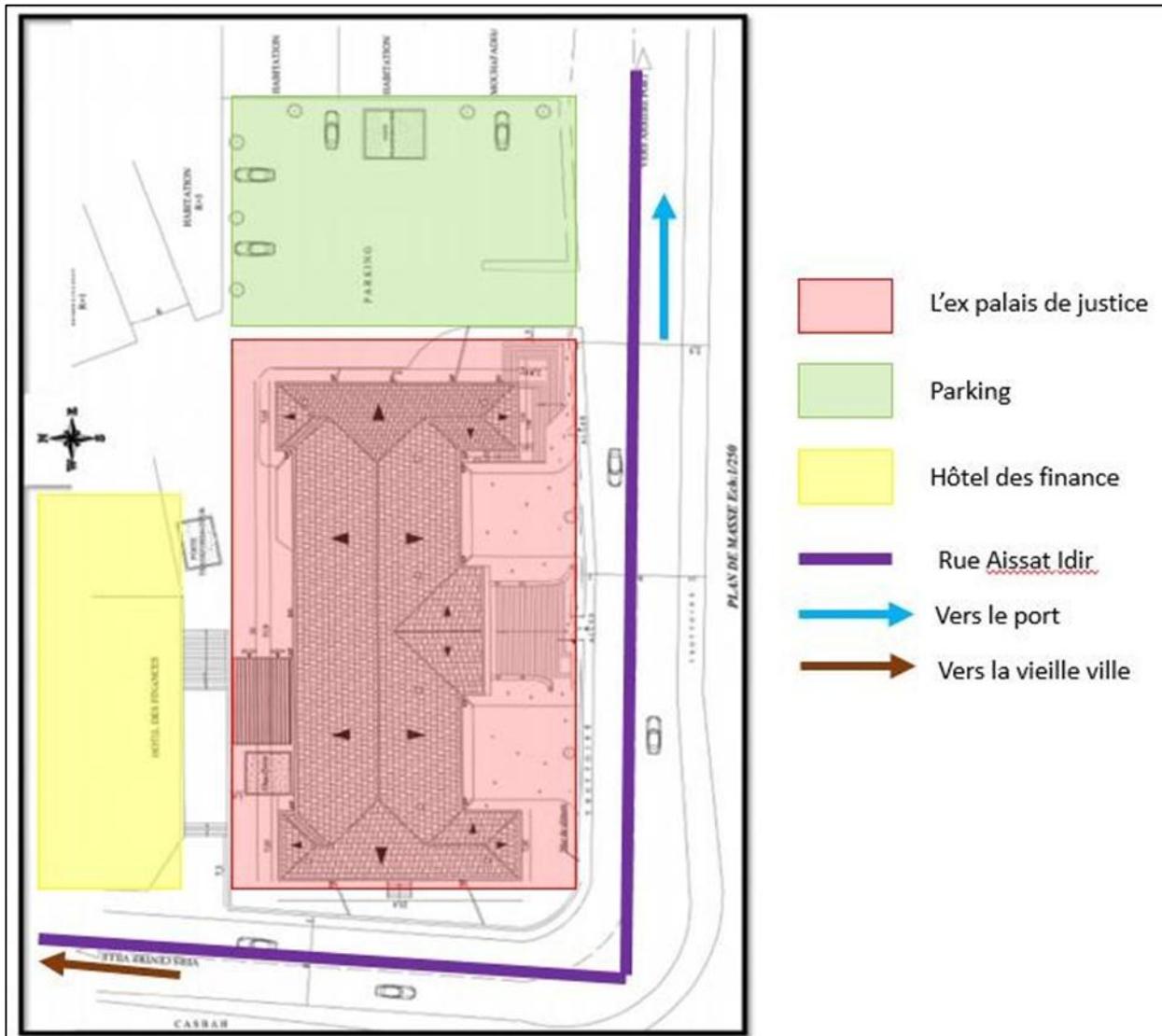


Figure 63 : Plan de masse du conservatoire musical de Bejaia. (Fond : relevé de la direction de la culture. Traitement : auteur 2025.)

IV.3.2. Plan et distribution intérieure :

Les plans que nous allons présenter dans cette partie sont les plans de reconversion de l'ex tribunal en école des beaux-arts.

Le bâtiment est conçu en R+1 avec un entresol sur une partie, il est bâti sur un terrain en pente sa forme en plan est un H très aplati de 50m de long par 25.4m de large et 19.3m de hauteur.

IV.3.2.1. L'entre sol :

- Pour le nouveau plan d'entre sol dans la nouvelle conception pour l'école des beaux-arts, il contient deux ateliers de sculpture, un atelier de gravure et des sanitaires.

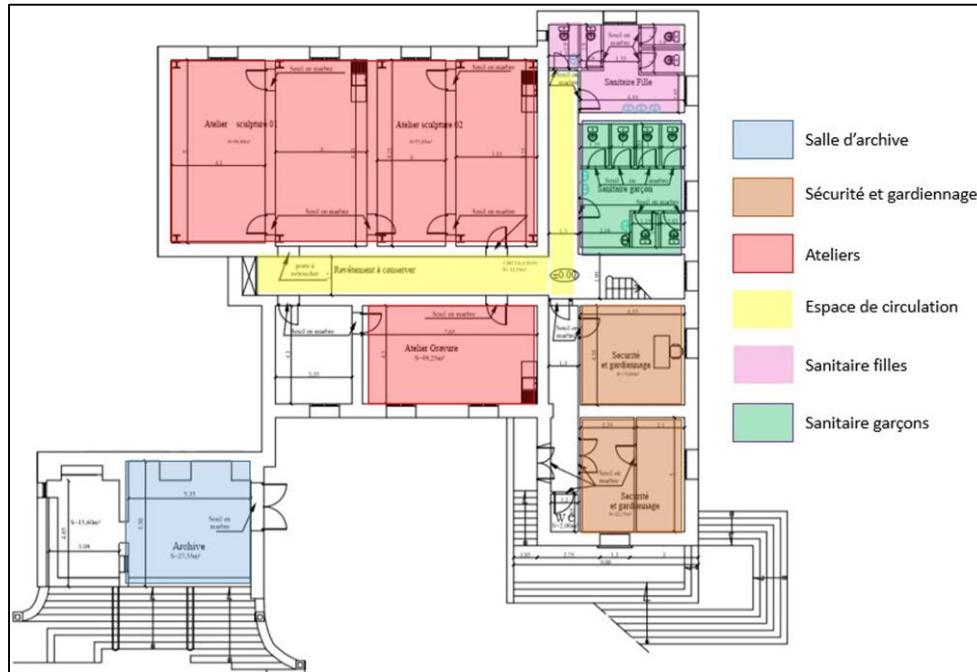


Figure 64 : Plan de sous-sol (Fond : plan de la direction de l'urbanisme.
Traitement : auteur 2025.).

Le bâtiment est constitué d'un bloc principal auquel on accède par un large escalier monumental qui mène vers un hall d'entrée surmonté d'une mezzanine, de part et d'autre deux ailes sont construites symétriquement.

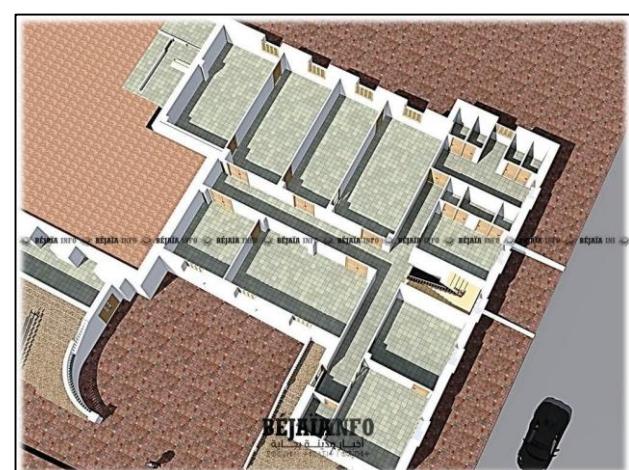


Figure 65 : Vue d'intérieur de sous-sol (Facebook : BEJAIA INFO).

IV.3.2.2. Le rez-de-chaussée :

Il est composé d'un amphithéâtre de 128m², une salle d'exposition aussi de 125m², ainsi que des salles d'enseignements, un atelier de peinture, scolarité, des sanitaires et des bureaux pour le directeur des études, secrétariat et enseignant.

Chapitre IV: Cas d'étude « le conservatoire musical de Bejaia »

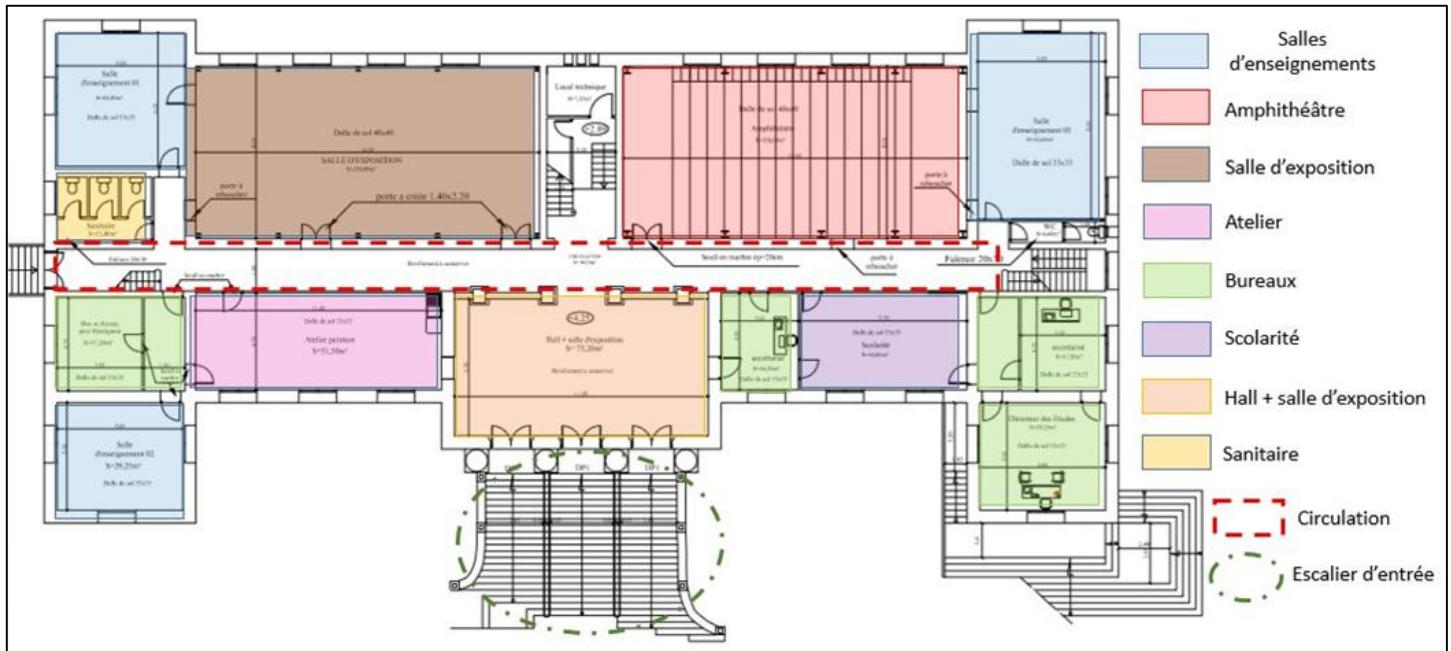


Figure 66 : Plan RDC (Fond : plan de la direction de l'urbanisme. Traitement : auteur 2025.).



Figure 67 : Vue d'intérieur de RDC (Facebook : BEJAIA INFO).

IV.3.2.3. L'étage :

À l'étage, on retrouve la mezzanine qui donne sur le hall d'entrée, aussi des ateliers, des salles de cours, des salles d'enseignements, salle de réunion, bureau du directeur et d'autre pour l'enseignant et le secrétariat ainsi que des sanitaires.

Chapitre IV: Cas d'étude « le conservatoire musical de Bejaia »

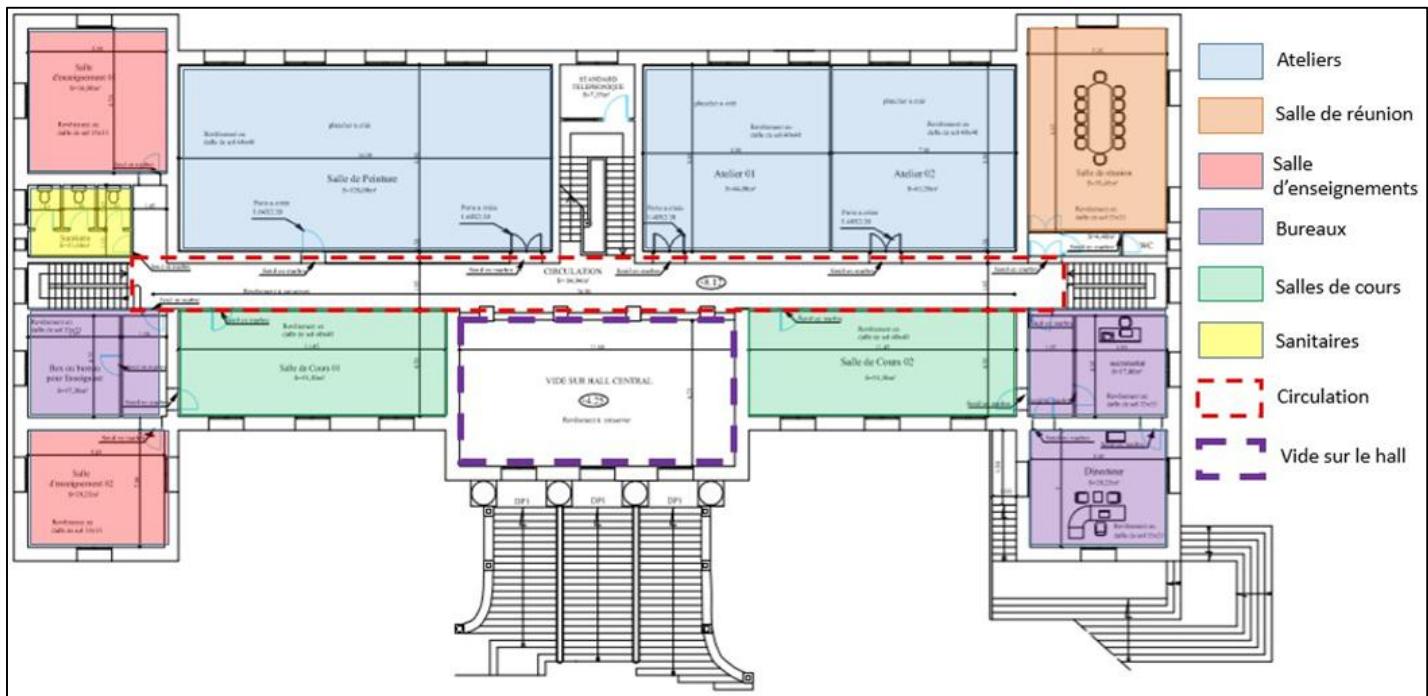


Figure 68 : Plan d'étage (Fond : plan de la direction de l'urbanisme. Traitement : auteur 2025.).



Figure 69 : Vue d'intérieur de l'étage (Facebook : BEJAIA INFO).

IV.3.2.4. Les plans avec cotations :

- L'entre sol :



Figure 70 : Plan de sous-sol avec cotations (Fond : plan de la direction de l'urbanisme. Traitement : auteur 2025.).

- Le rez-de-chaussée :

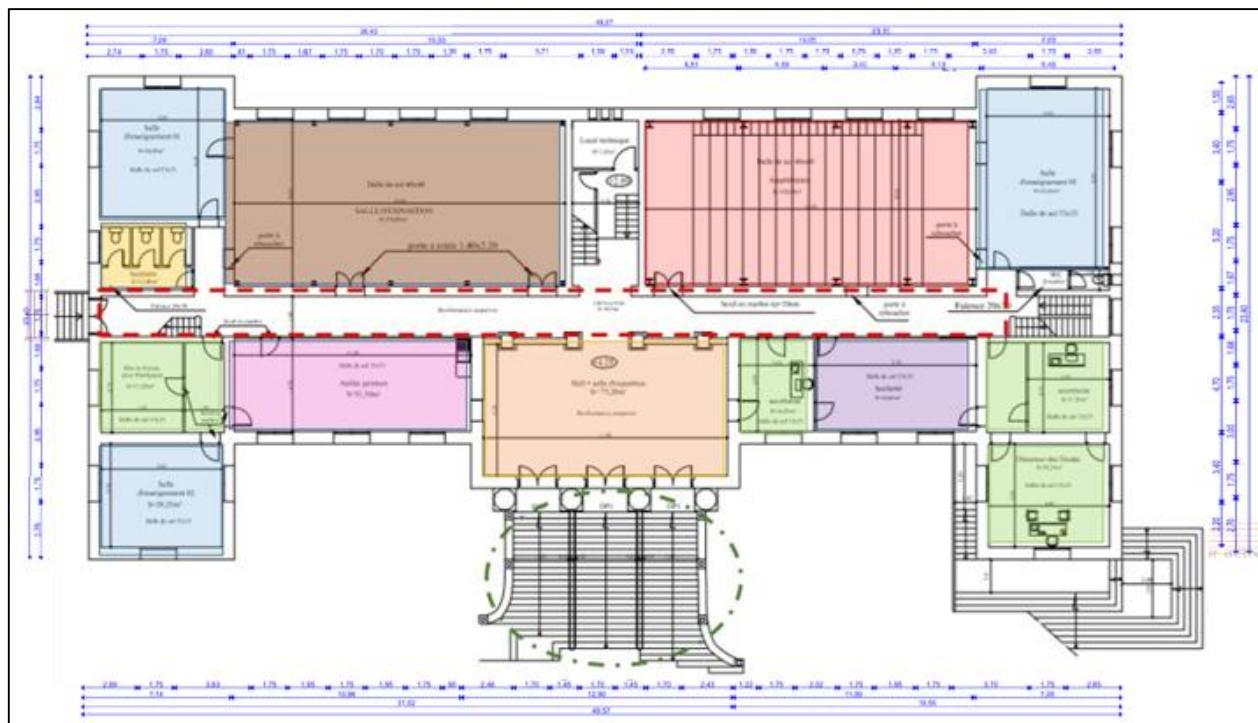


Figure 71 : Plan de RDC avec cotations (Fond : plan de la direction de l'urbanisme. Traitement : auteur 2025.).

- L'étage :

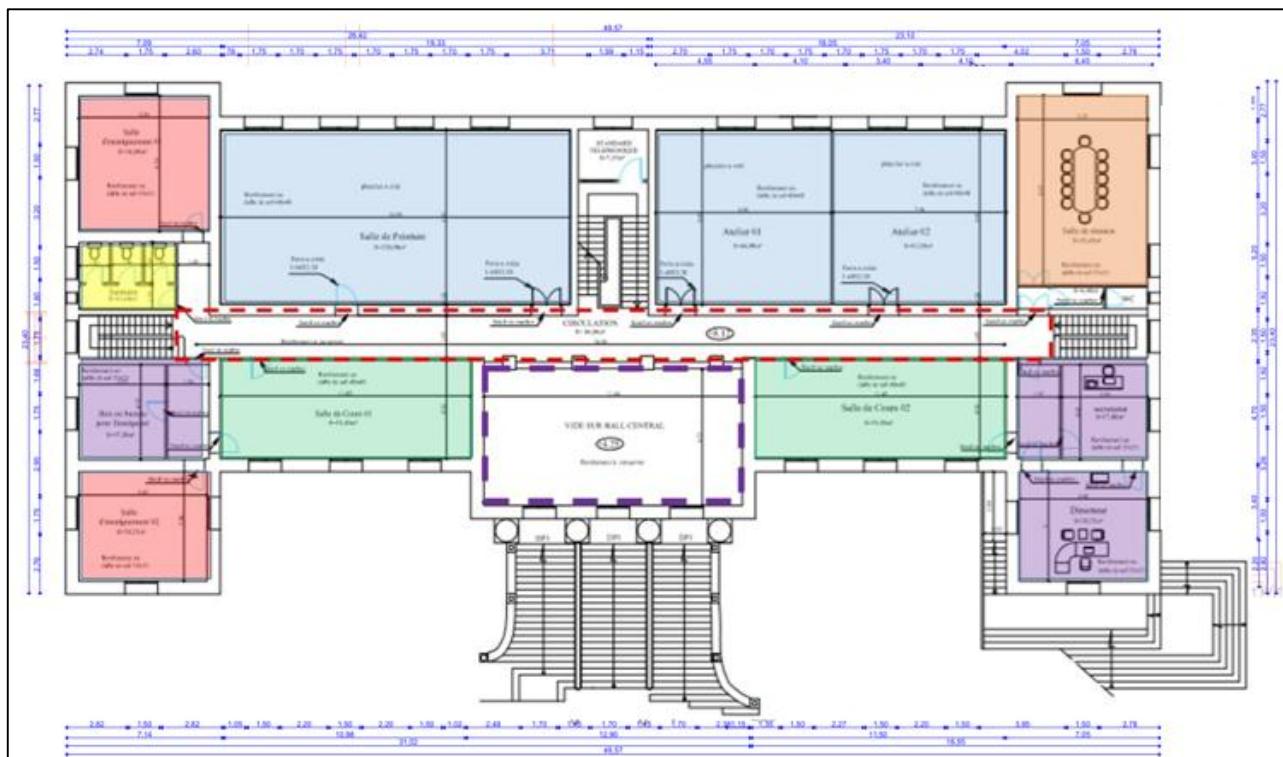


Figure 72 : Plan de l'étage avec cotations (Fond : plan de la direction de l'urbanisme. Traitement : auteur 2025.).

IV.3.2.5. La partie qui a été réhabilité après effondrement :

La partie effondrée c'est l'aile Est, qui a été réhabilité avec des nouveaux matériaux et des nouveaux techniques (mur en brique avec lame d'aire, structure poteaux poutres voile ...), séparé entre les deux avec joint de rupture.

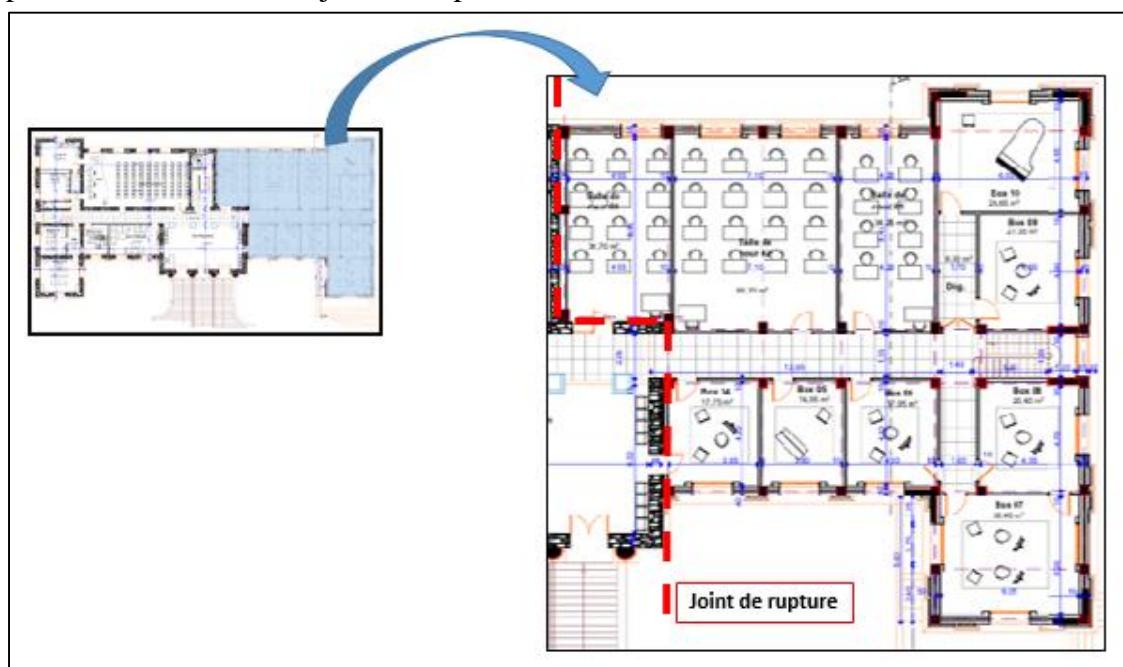


Figure 73 : La partie qui a été réhabilité après effondrement (Fond : plan de bureau d'étude Ben Sahnoun. Traitement : auteur 2025.).

IV.3.3. Composition de la façade :

La façade principale est rythmée par trois décrochements, deux aux extrémités et le troisième moins en sailli que les deux autres- au centre, matérialisant l'entrée monumentale par laquelle on accède par un large escalier et qui est surmonté par un fronton triangulaire sculpté de personnages humains.

L'entrée monumentale est flanquée de colonnes d'ordre toscan, plus large à leurs bases qu'à leur sommet, montant sur les deux étages de l'édifice ; ils sont au nombre de quatre, deux aux extrémités et deux autre divisant l'entrée en 3 parties verticales.

Le bâtiment est couronné par une frise qui court tout autour de celui-ci.

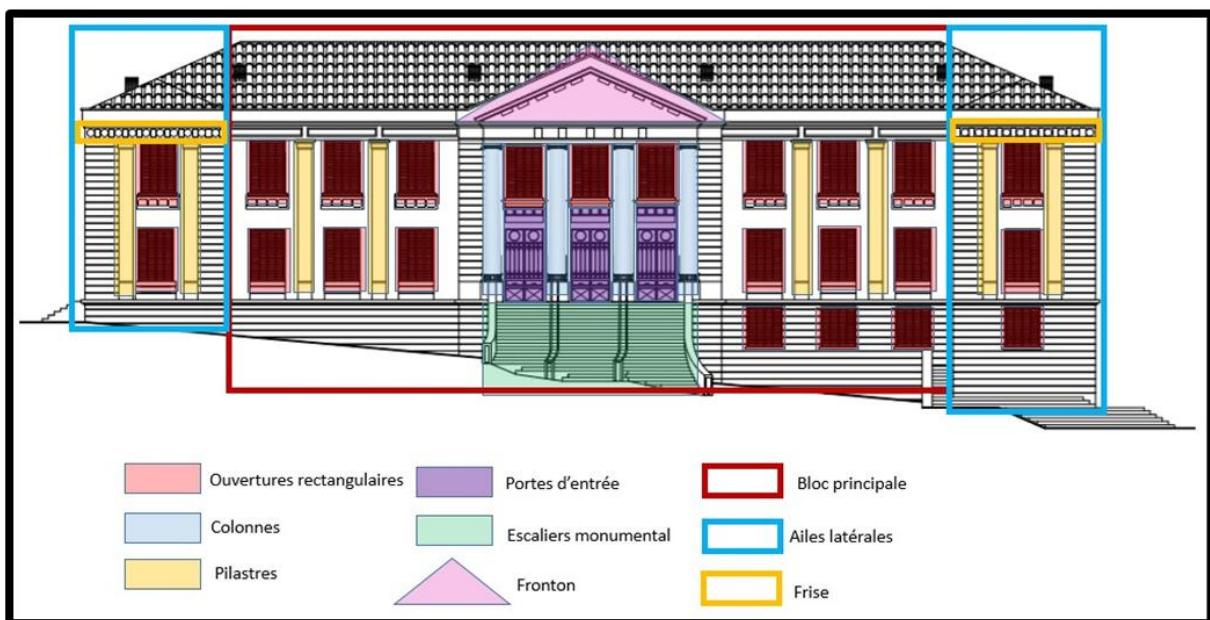


Figure 74 : Façade principale (Fond : façade de la direction de l'urbanisme. Traitement : auteur 2025.).

Ce palais de justice est bordé sur ses quatre façades d'une double ligne de fenêtres superposées harmonieusement ordonnancées pour éclairer tous les espaces internes du bâtiment ; ces mêmes fenêtres sont soulignées par des denticules.

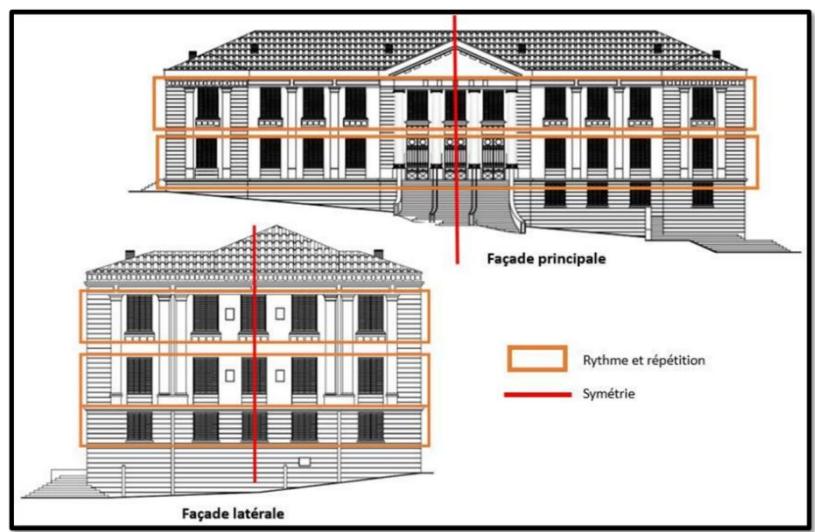


Figure 75 : Lecture des façades (Fond : façade de la direction de l'urbanisme. Traitement : auteur 2025.).

IV.3.4. Matériaux et système constructif :

Pour les matériaux de construction sont les suivants (Noura,L ., Oughlissi,S, 2015):

- **La brique** : utilisée dans les cloisons et les planchers et les murs extérieurs de la partie réhabilitée.
- **Le métal** : utilisé dans la charpente et les poutres des planchers.
- **La pierre** : utilisée dans les fondations et les murs porteurs.
- **Le bois** : utilisé dans la toiture, les ouvertures.
- **La tuile** : utilisée dans la toiture.
- **Le béton armé** : utilisée dans la partie réhabilitée pour les poteaux et le voile



Figure 76 : Les différents matériaux de construction (Mémoire de master, 2015).

- **La chaux** : utilisée dans les voûtes en grosse maçonnerie.
- **La tuile** : utilisée dans la toiture.

Le système constructif est en **murs porteurs** par rapport non effondrée. Le bâtiment est construit en murs porteurs en pierre avec un joint en mortier et recouverts d'une couche d'enduit, ils ont une épaisseur qui varie de 0.5m à 1.00 m. Pour les **cloisons**, ils sont construites en brique creuse et sont jointées par un mortier en ciment et recouvertes d'une couche d'enduit, elles ont une épaisseur de 10 cm.

Chapitre IV: Cas d'étude « le conservatoire musical de Bejaia »

Par rapport à la partie effondrée le système constructif est poteaux poutres et voiles.

Le plancher est composé de (Ibid.) :

- **Une ossature métallique** qui se compose de solives (poutres) en acier espacées entre elles de 40 à 60 cm, sur lesquelles reposent des voutains en brique.
- **Un faux plafond** qui est constitué de lattis en bois, enduit de plâtre pour cacher l'ossature métallique et créer ainsi un enrobage pour l'acier contre l'humidité.



Figure 77 : La 3D du l'ex tribunal de la vieille ville de Bejaia (Facebook : BEJAIA INFO).

La toiture est composée d'une charpente métallique et des éléments en bois sur lesquels sont posées les tuiles.

Sol et fondation (Noura,L., Oughlissi,S, 2015):

- Le bâtiment s'implante sur un rocher calcaire avec conglomération de grès et quelques vaines d'argiles. Il repose sur des voutes en grosse maçonnerie à la chaux.
- Les murs porteurs, qui sont élargis à leurs bases, sont encrés sur des profondeurs comprises entre 0.5m et 1m.
- Le sol d'assise est constitué en surface de remblais sur une profondeur entre 5m à 6m et de calcaire très compact en profondeur.
- Un escalier d'accès permet de rattraper la différence de niveaux due à pente de 20%.

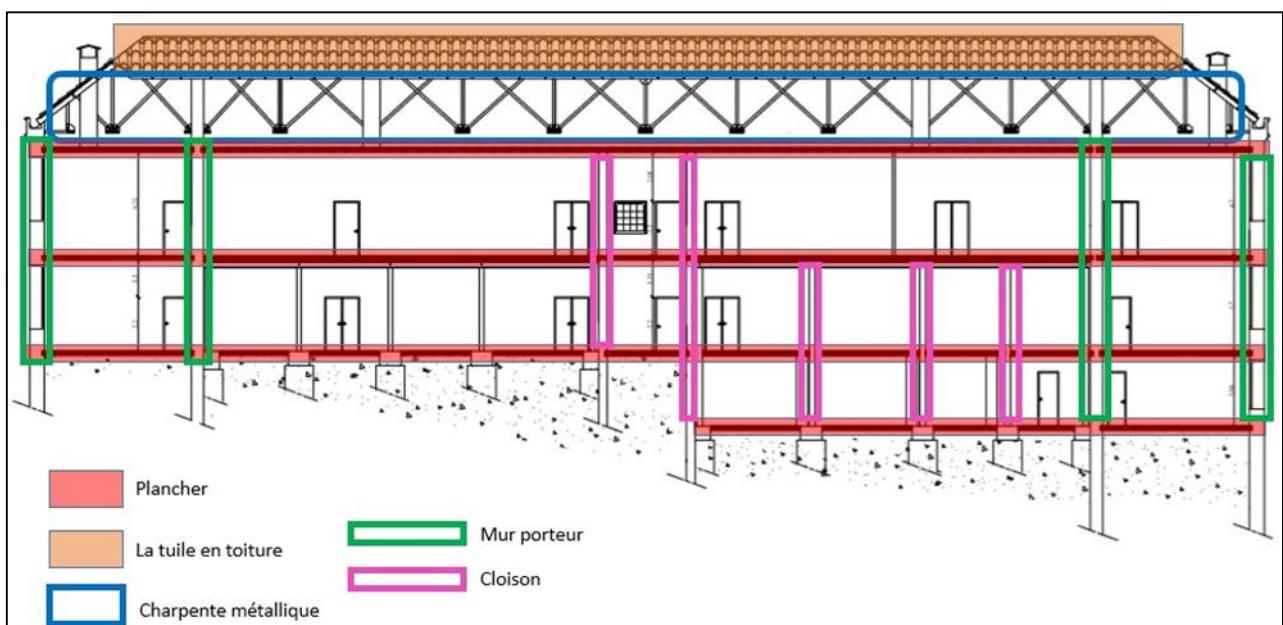


Figure 78 : Coupe sur le bâtiment montrant les différents éléments de construction (Fond : BET Mr MAHINDAD. Traitement : auteur2025.).

➤ Les planchers :

- **Planchers :**

Il est composé d'une ossature métallique qui se compose de solives (poutres) en acier espacées entre elles de 40 à 60 cm, sur lesquelles reposent des voutains en brique.

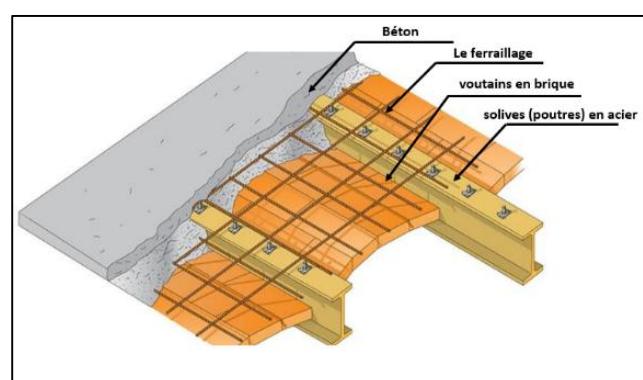


Figure 79 : Détail schématique des matériaux composant le plancher (Tecnaria, traité par l'auteur 2025).

- **Plancher bas** (La partie qui a été réhabilité après effondrement) :

Il est composé d'une dalle en béton armé de 20 cm posé sur un hérissonage de 40 cm d'épaisseur et un revêtement de sol de 2cm d'épaisseur.

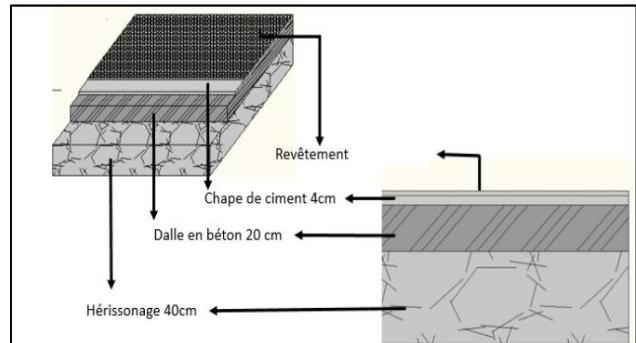


Figure 80 : Détail schématique des matériaux composant le plancher bas (L.M. Miquel, repris par l'auteur, 2025).

- **Planchers intermédiaires** (La partie qui a été réhabilité après effondrement) :

C'est un plancher de dalle à corps creux avec un hourdis en béton de 15 cm, béton lourd 4 cm, mortier de 4 cm, un carrelage de 2 cm et un enduit de plâtre de 1.5cm.

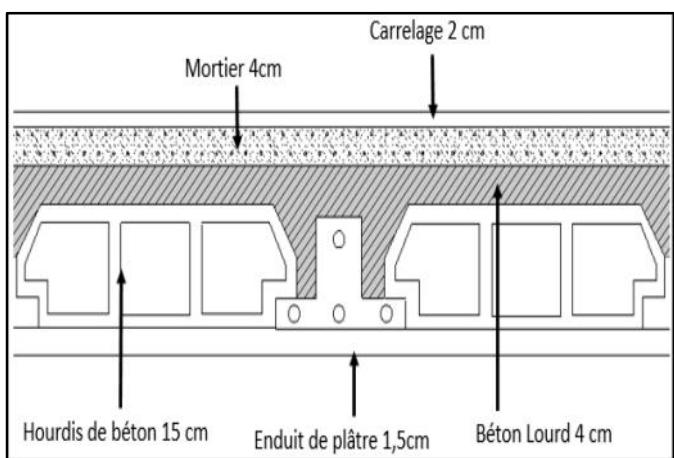


Figure 81 : Détail schématique des matériaux composant le plancher intermédiaires (L.M. Miquel, repris par l'auteur, 2025).

➤ Les parois :

- **Les parois intérieures :**

Elles sont avec une seule cloison en brique à huit trous, d'épaisseur 10 cm revêtus d'un enduit de plâtre de 1.5 cm de part et d'autre.

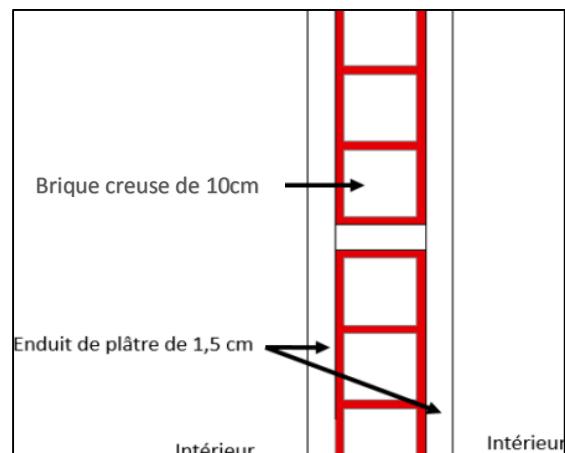


Figure 82 : Détail schématique des matériaux composant les parois intérieures (l'auteur 2025).

- **Les parois extérieures :**

Il est construit en murs porteurs en pierre avec un joint en mortier et recouverts d'une couche d'enduit, ils ont une épaisseur qui varie de 0.5m à 1.00 m.

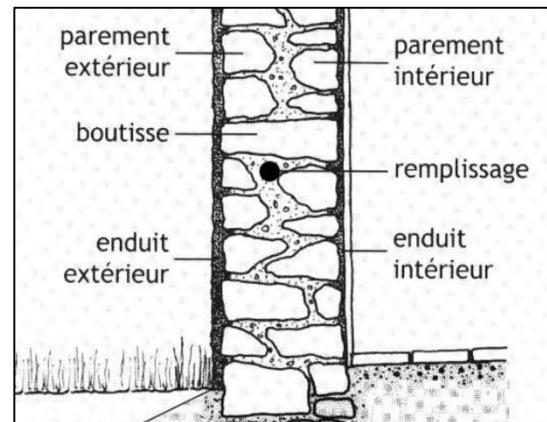


Figure 83 : Détail schématique des matériaux composant les parois extérieures en pierre (<https://blog-patrimoine-facades.com/murs-murs/>).

- **Les parois extérieures** (La partie qui a été réhabilité après effondrement) :

C'est en double cloison de briques de 10 cm séparées par une lame d'air de 5 cm. Le revêtement extérieur est en enduit de ciment et en plâtre pour l'intérieur.

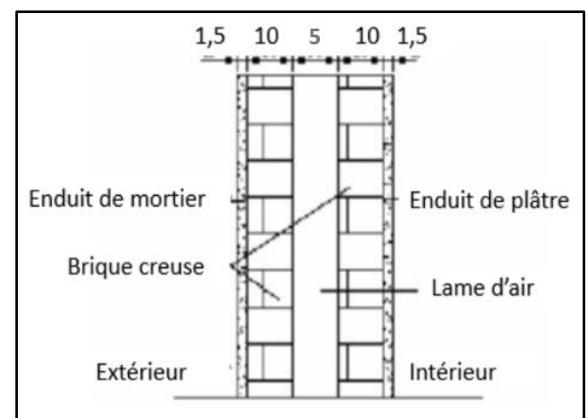


Figure 84 : Détail schématique des matériaux composant les parois extérieures (l'auteur 2025).

IV.4. Aperçu sur le climat de la ville de Bejaia :

IV.4.1. La température :

La ville de Bejaia est influencée par un climat Méditerranéen. Selon la classification de Köppen Geiger, le climat est de type Csa avec un été sec et chaud, et un hiver doux et pluvieux. Les températures présentent de forts contrastes entre l'hiver et l'été.

Avec une température maximale de 31°C dans le mois d'août, et de 6°C dans le mois de janvier en hiver (ONM, 2014).

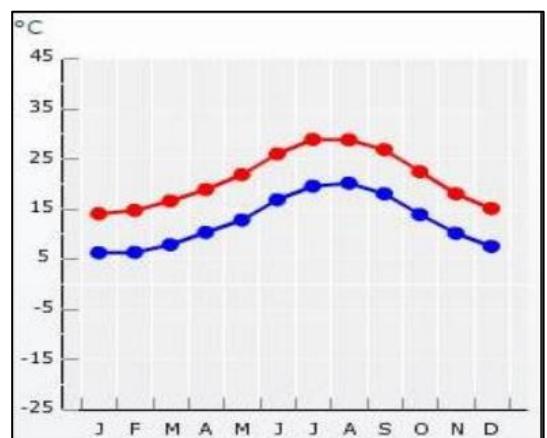


Figure 85 : Histogramme de température maximale mensuelle (ONM, 2014).

IV.4.2. Ensoleillement :

Selon l'office national météorologique ONM, Bejaia est caractérisée par un été ensoleillé avec 11 heures d'ensoleillement par jour pour le mois de juillet et uniquement 4heures pour le mois de décembre (ONM, 2014).

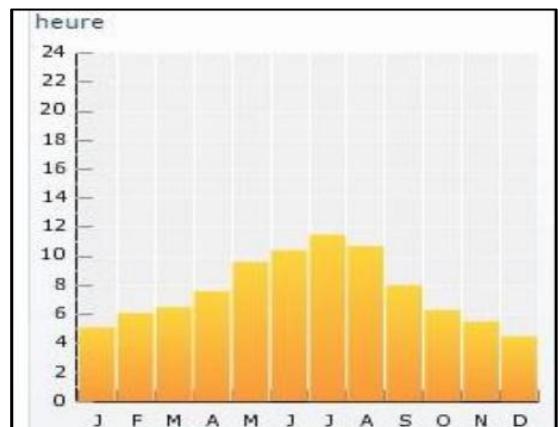


Figure 86 : Heures d'ensoleillement mensuelles (ONM, 2014).

IV.4.3. Les précipitations :

La répartition annuelle des précipitations à Bejaia est marquée par une période courte de sécheresse dans le mois de Juillet et aout, durant laquelle les précipitations sont très faibles et souvent sous forme d'orage. En hiver, les pluies sont bien plus importantes à Bejaia qu'elles ne le sont en été. La période pluvieuse s'étend du mois de novembre au mois d'avril. Le mois de décembre étant le mois le plus pluvieux avec une quantité moyenne de 113mm et le mois de juillet est le plus sec avec une valeur moyenne de 2 mm (ONM, 2014).

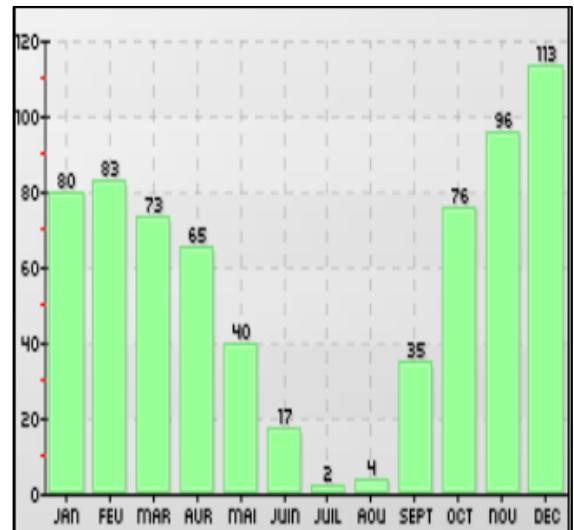


Figure 87 : Quantité de précipitations par mois (ONM, 2014).

IV.4.4. Le régime des vents :

Selon les études du laboratoire d'étude maritime LEM (2007), les vents du secteur Nord – Est sont les plus fréquents. Les vents sont mieux marqués en été, leur vitesse se répartit entre 1 et 30 nœuds. Les vents du secteur Sud – Ouest soufflent principalement en hiver, la vitesse de ces vents est de 6 à 10 nœuds (LEM, 2007).

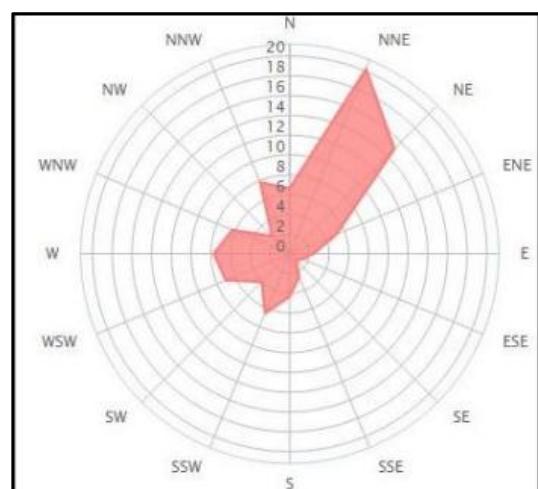


Figure 88 : Rose des vents de Bejaia (LEM, 2007).

IV.4.5. L'humidité :

La valeur moyenne de l'humidité dépasse les 50% pour tous les mois de l'année et varie entre un maximum de 80 % au mois de Décembre, Janvier, Février et un minimum de 69 % au mois de Juillet (Température weather, 2009).

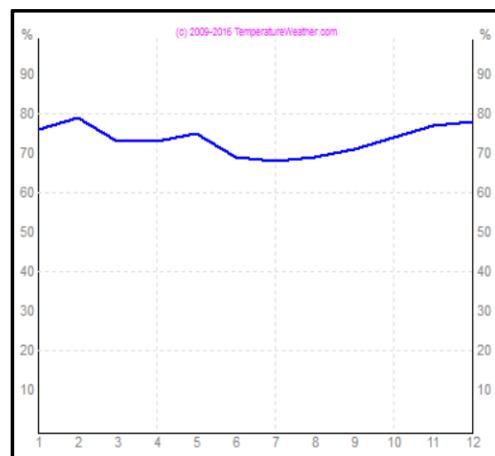


Figure 89 : Histogramme de la variation de l'humidité par mois (Température weather, 2009).

IV.5. Simulation :

Dans le cadre de ce projet de réhabilitation et d'optimisation énergétique de l'ex tribunal de la vieille ville de Bejaia, une étude de simulation thermique et énergétique a été réalisée à l'aide du logiciel ArchiWIZARD. Cette étape permettant d'évaluer le comportement du bâtiment face aux sollicitations climatiques extérieures et aux apports internes, en conditions réelles de fonctionnement.

L'objectif principal de cette simulation est de quantifier les besoins énergétiques du bâtiment, en particulier en chauffage et en refroidissement, tout en analysant le niveau de confort thermique offert aux occupants tout au long de l'année. Grâce à une modélisation précise intégrant la géométrie du bâtiment, ses caractéristiques thermiques, ainsi que les données météorologiques locales (fichier climatique de Bejaia).

IV.5.1. Confort thermique (Analyse des températures) :

Informations générales :

Surface :	1559.3 m²
Volume :	6133.6 m³

Confort :

Température opérative minimale :	24 °C	: 31 Décembre à 6h
Température opérative minimale en occupation :	26 °C	: 31 Décembre à 9h
Température opérative maximale :	38 °C	: 7 Janvier à 14h
Température opérative maximale en occupation :	37 °C	: 5 Janvier à 14h
Nombre d'heures > 25°C :	2871	
Taux d'inconfort :	100 %	

Figure 90 : Extrait du rapport (l'auteur 2025).

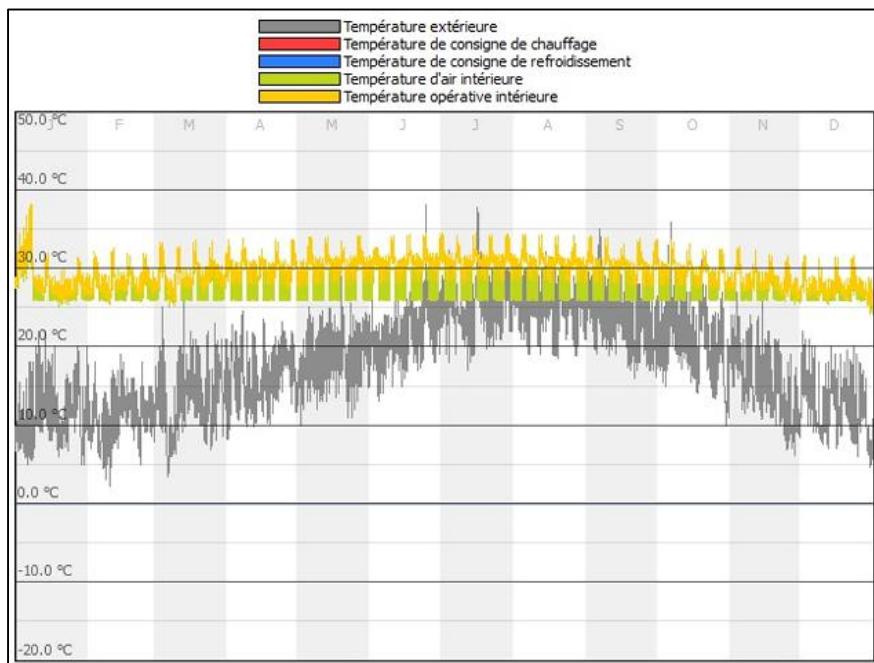


Figure 91 : Température intérieure de bâtiment (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

○ **Interprétation :**

- Le bâtiment reste chaud toute l'année, y compris en hiver.
- Il n'y a aucun besoin de chauffage, mais le confort est catastrophique en été.
- Les températures maximales dépassent régulièrement les 30 à 35 °C.

IV.5.2. Besoins énergétiques (Chauffage et Refroidissement) :

Besoins énergétiques :

Besoin total de chauffage :

1257 kWh

: 9 kWh/m²

Pic de besoin de chauffage :

1969 W

: 14 W/m²

Besoin total de refroidissement :

641174 kWh

: 411 kWh/m²

Pic de besoin de refroidissement :

324269 W

: 208 W/m²

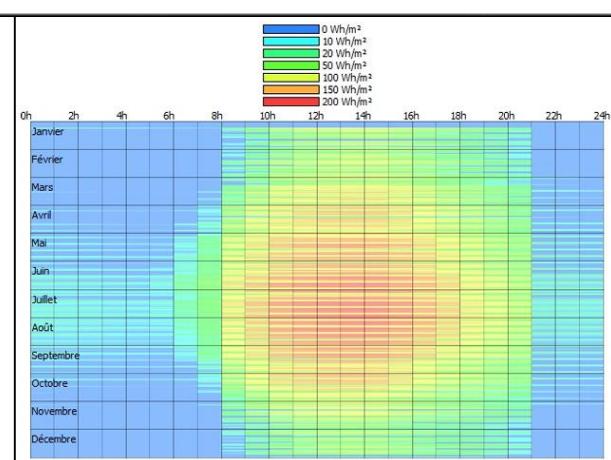
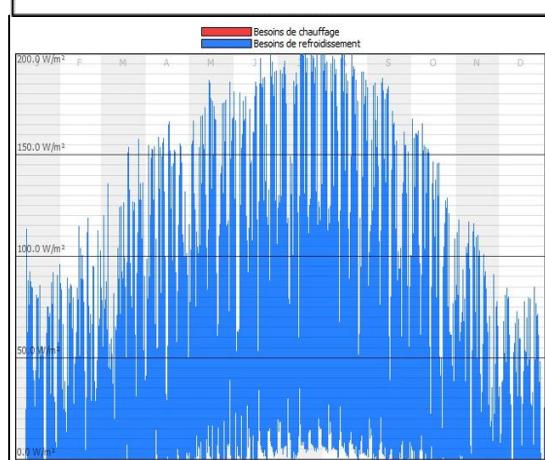


Figure 92 : Extrait du rapport (l'auteur 2025).

○ **Interprétation :**

- Les besoins de chauffage très bas. Cohérent avec la température intérieure, cela confirme que les températures intérieures ne descendent jamais sous les seuils de confort (9 KWh/m²/an).
- Le besoin en refroidissement est très élevé.
- La valeur moyenne de 411 KWh/m²/an, qui dépassent de loin les seuils acceptables (100 KWh/m²/an pour un bâtiment efficace).
- Le pic de puissance de 324 KW nécessite une installation de froid massive.

IV.5.3. Analyse de l'enveloppe thermique :

	Murs	Baies	Planchers	Toitures
Sur autre zone	0.0	0.0	0.0	0.0
Sur extérieur	743.2	866.4	0.3	356.5
Sur sol	264.6	0.0	769.5	0.0
Adiabatique	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	1007.8	866.4	769.7	356.5

Figure 93 : Extrait du rapport (l'auteur 2025).

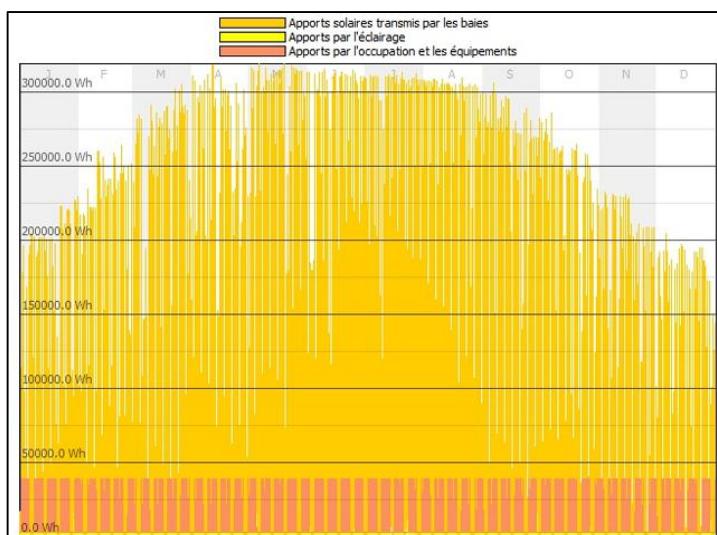


Figure 94 : Apports solaires (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

○ **Interprétation :**

- Les surfaces vitrées sont très importantes (866.4 m²), presque aussi grandes que les murs sont la principale source de surchauffe.
- Il n'y a aucune protection solaire.
- Cela explique les températures très élevées à l'intérieur.

IV.5.4. Lumière naturelle (FLJ) :

Localisation	
Longitude	5.1 °
Latitude	36.7 °
Position courante du soleil	
Elévation	29.1 °
Azimut	-19.3 °
ECLAIRAGE NATUREL	
Type de ciel	CIE type 16
ECLAIREMENT DIRECT DISPONIBLE	31096 Lux
ECLAIREMENT DIFFUS DISPONIBLE	17177 Lux
ECLAIREMENT REÇU MINIMUM	0 Lux
ECLAIREMENT REÇU MOYEN	8440 Lux
ECLAIREMENT REÇU MAXIMUM	33151 Lux
FLJ minimum	0.0 %
FLJ moyen	24.4 %
FLJ maximum	88.5 %
Ratio de surface respectant l'exigence FLJ _{minimum} ≥ 2.0 %	56 %

Figure 95 : Lumière naturelle FLJ (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

- Facteur de lumière du jour (FLJ) moyen : 24.4%
- FLJ $\geq 2\%$ sur 56% des surfaces (bon niveau d'éclairage naturel).
- ECLAIREMENT MAXIMUM REÇU : 33 151 lux.

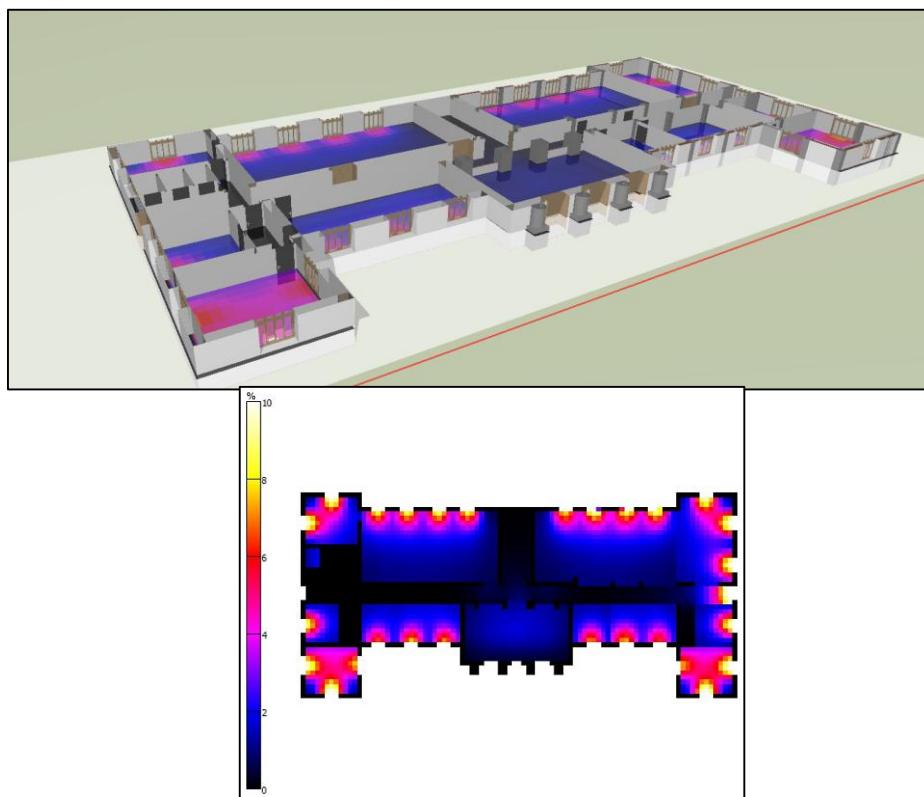


Figure 96 : Carte d'éclairage (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

○ **Interprétation :**

- Le bâtiment bénéficie d'un très bon apport de lumière naturelle, ce qui est positif pour l'autonomie lumineuse.
- Mais ces apports lumineux se traduisent aussi par des apports thermiques excessifs, comme cité précédemment.
- Le rapport entre éclairement et température intérieure montre un lien direct surchauffe et ensoleillement non contrôlé.

IV.5.5. La répartition des températures :

Température d'air	< 15 °C	≥ 15 °C	≥ 16 °C	≥ 17 °C	≥ 18 °C	≥ 19 °C	≥ 20 °C	≥ 21 °C	≥ 22 °C	≥ 23 °C	≥ 24 °C	≥ 25 °C	≥ 26 °C	≥ 27 °C	≥ 28 °C	≥ 29 °C	≥ 30 °C
Nb. d'heures en occupation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	2753	0	1	4	50
Nb. d'heures cumulées en occupation	0	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2808	55	55	54	50	
Nb. d'heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	194	3747	605	614	1230	2354
Nb. d'heures cumulées	0	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8744	8550	4803	4198	3584	2354
Température opérative	< 15 °C	≥ 15 °C	≥ 16 °C	≥ 17 °C	≥ 18 °C	≥ 19 °C	≥ 20 °C	≥ 21 °C	≥ 22 °C	≥ 23 °C	≥ 24 °C	≥ 25 °C	≥ 26 °C	≥ 27 °C	≥ 28 °C	≥ 29 °C	≥ 30 °C
Nb. d'heures en occupation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	472	762	604	998	
Nb. d'heures cumulées en occupation	0	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2836	2364	1602	998
Nb. d'heures	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	52	520	1248	1477	1513	3940
Nb. d'heures cumulées	0	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8759	8750	8698	8178	6930	5453	3940

Figure 97 : Répartition des températures (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

Table 6 : Synthèse de la répartition des températures (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

Température	Heures d'occupation (sur 2 871 h)
≥26 °C	2 808 h
≥28 °C	55 h
≥30 °C	42 h
<25 °C	8 h

○ **Interprétation :**

- Il existe que 8 heure d'occupation où la température est inférieure à 25 °C.
- Le bâtiment est constamment inconfortable, avec plus de 90% des heures > 26 °C.
- Cela est visible aussi sur les diagrammes de répartition de température, ou les courbes sont concentrées dans la zone des 27-30 °C.

IV.5.6. Les points positifs et les problèmes majeurs :

- **Points positifs :**

- Excellent éclairage naturel (bonne FLJ).
- Zéro besoin de chauffage (très faible impact hiver).

- **Problèmes majeurs :**

- Surchauffe pendant la majeure partie de l'année.
- Inconfort thermique totale.
- Faible gestion bioclimatique des apports solaires.
- Refroidissement énergétiquement insoutenable.

IV.5.7. Recommandations techniques :

Nous allons appliquer quelques solutions mentionnées auparavant (voir chapitre 04) tel que :

- Installer des protections solaires pour limiter les apports solaires comme des fenêtres en triple vitrage avec du gaz argon entre les vitres ainsi que des stores à l'intérieur.

Ces solutions n'ont aucun impact sur la façade et sont faciles à intégrer dans l'usage quotidien et peut s'harmoniser avec le style architectural intérieur.

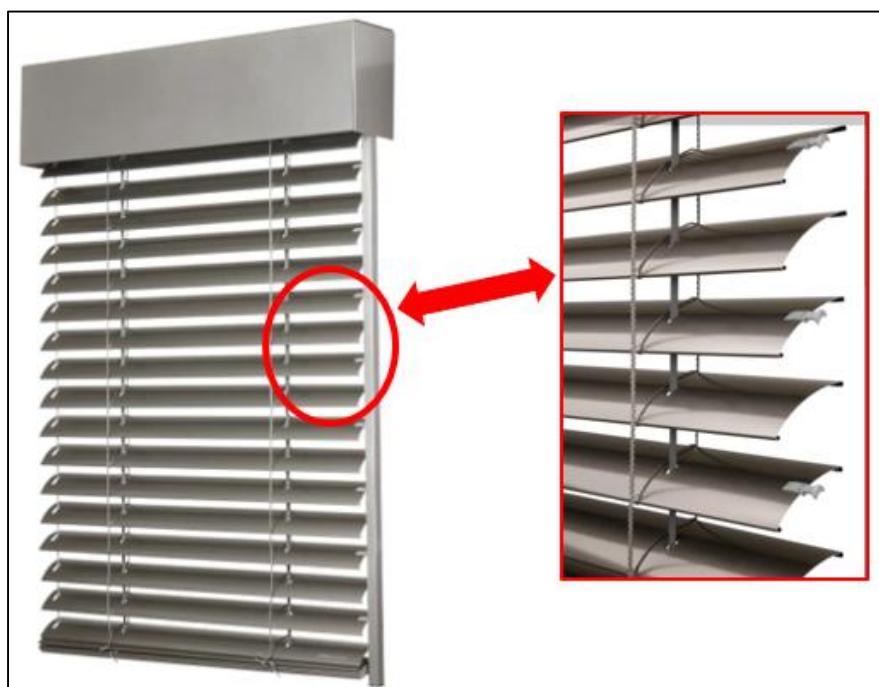


Figure 98 : Les stores des fenêtres à l'intérieur (www.storesisotra.fr, 2019)

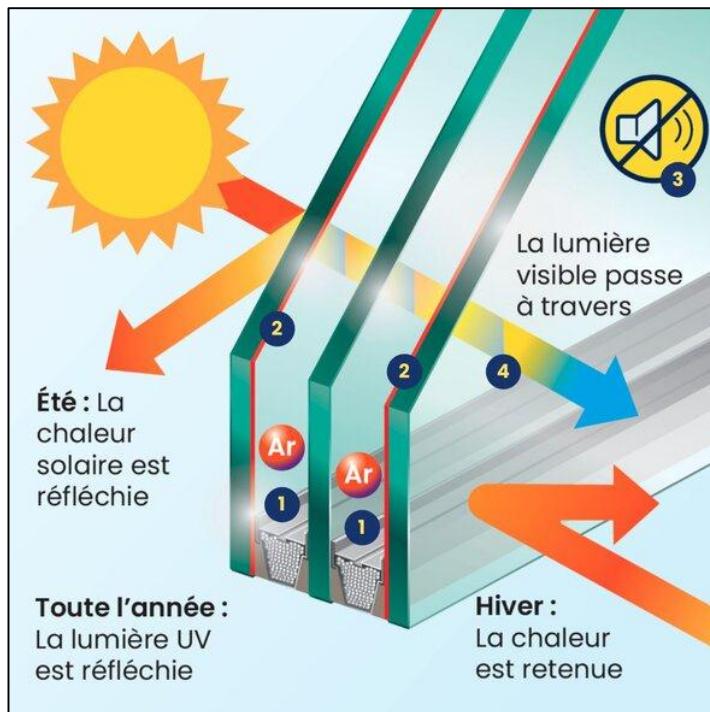


Figure 99 : La fonction de triple vitrage (www.columbiaskylights.com, 2025).

- Afin d'apporter de la fraîcheur, d'aérer l'espace intérieur et d'évacuer la chaleur, il est primordial de mettre en place un système de ventilation naturelle, notamment par l'utilisation des fenêtres ventilées sans altérer l'esthétique de la façade.

Cette solution, discrète et facile à intégrer, ne nécessite aucun ajout visible en façade et reste parfaitement compatible avec les exigences d'un bâtiment historique.



Figure 100 : Les fenêtres ventilées (www.egokiefer.ch, 2025).

- Afin d'empêcher la pénétration de la chaleur à l'intérieur de l'espace et d'assurer l'isolation thermique des murs en pierre, il est recommandé d'opter pour une isolation par l'intérieur. Cela peut se faire à l'aide des plaques de plâtre (Placoplatre) fixées sur une ossature métallique, avec une couche de laine de rocher insérée entre le mur et les plaques, permettant ainsi une isolation superficielle efficace sans altérer la structure d'origine.

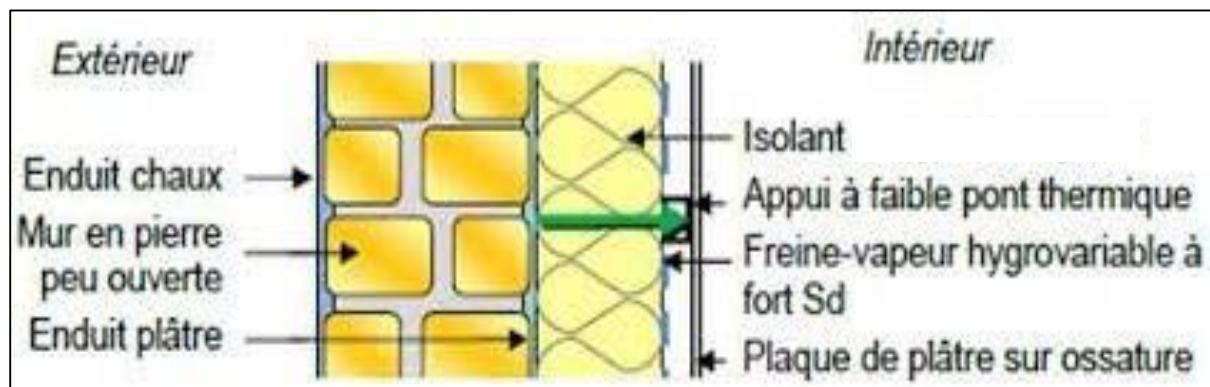


Figure 101 : Isolation d'un bâti ancien (docs.infoenergie38.org, 2022).

- Isolation de la partie réhabilitée par la lame d'air avec de polystyrène.

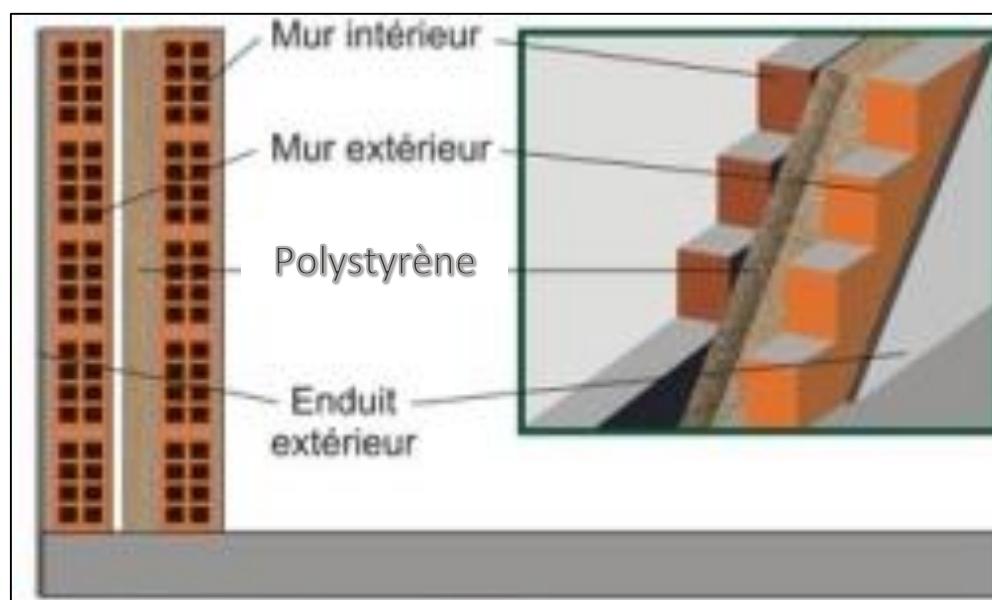


Figure 102 : Isolation des murs en double mirette avec de polystyrène (www.polychimie.be, 2021)

IV.6. La comparaison des simulations avant et après l'application des solutions proposées :

L'objectif principal de cette simulation est de quantifier les besoins énergétiques du bâtiment, en particulier en chauffage et en refroidissement, après l'application des solutions proposées.

IV.6.1. Confort thermique (Analyse des températures) :

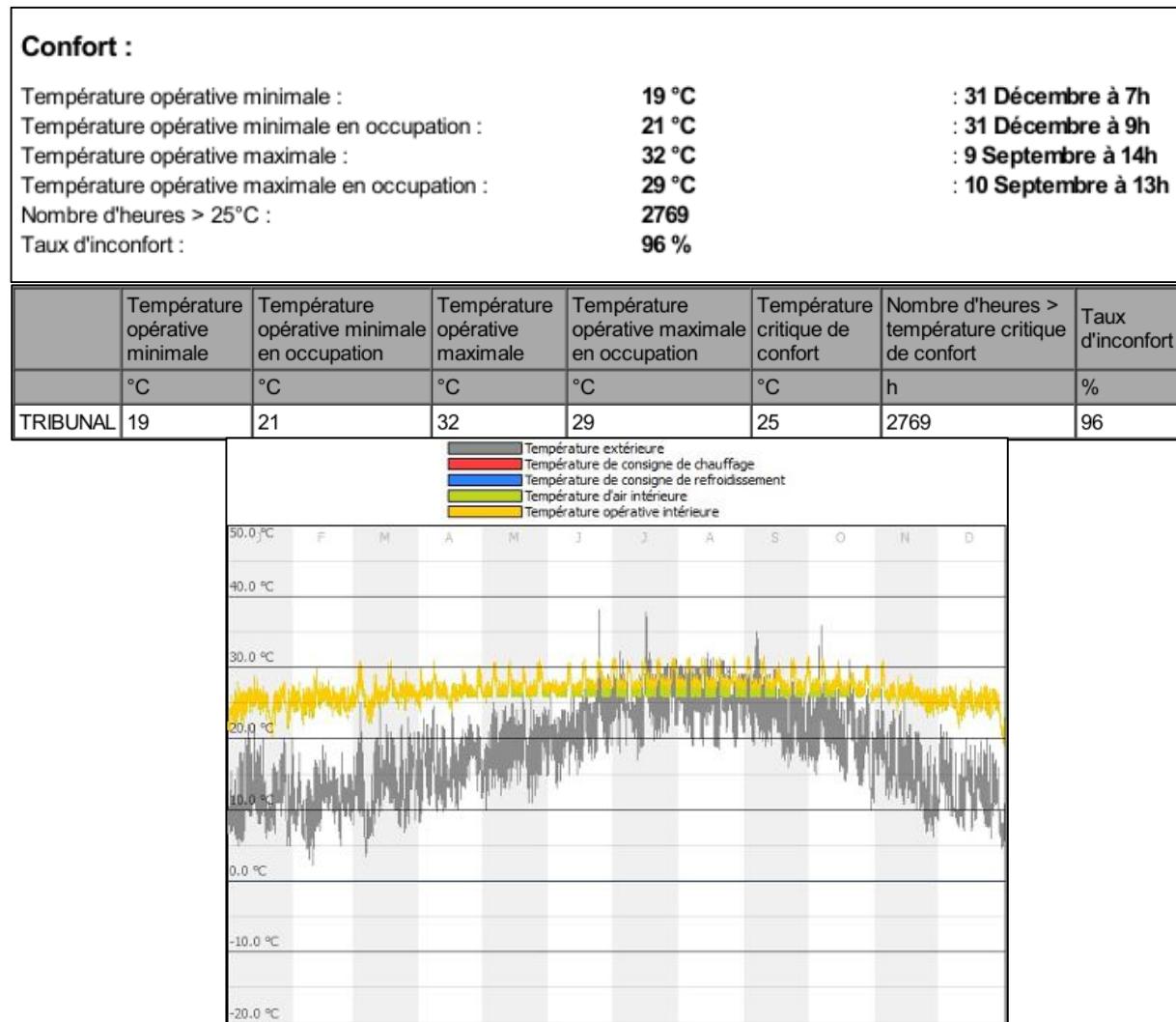


Figure 103 : Température intérieure de bâtiment (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

Table 7 : la comparaison de confort thermique (l'auteur 2025).

- **Analyse :**

- En V2, les températures ont été mieux contrôlées.
- L'intégration supposée de solutions thermiques de refroidissement ou protection solaires a permis de réduire la surchauffe.

Chapitre IV: Cas d'étude « le conservatoire musical de Bejaia »

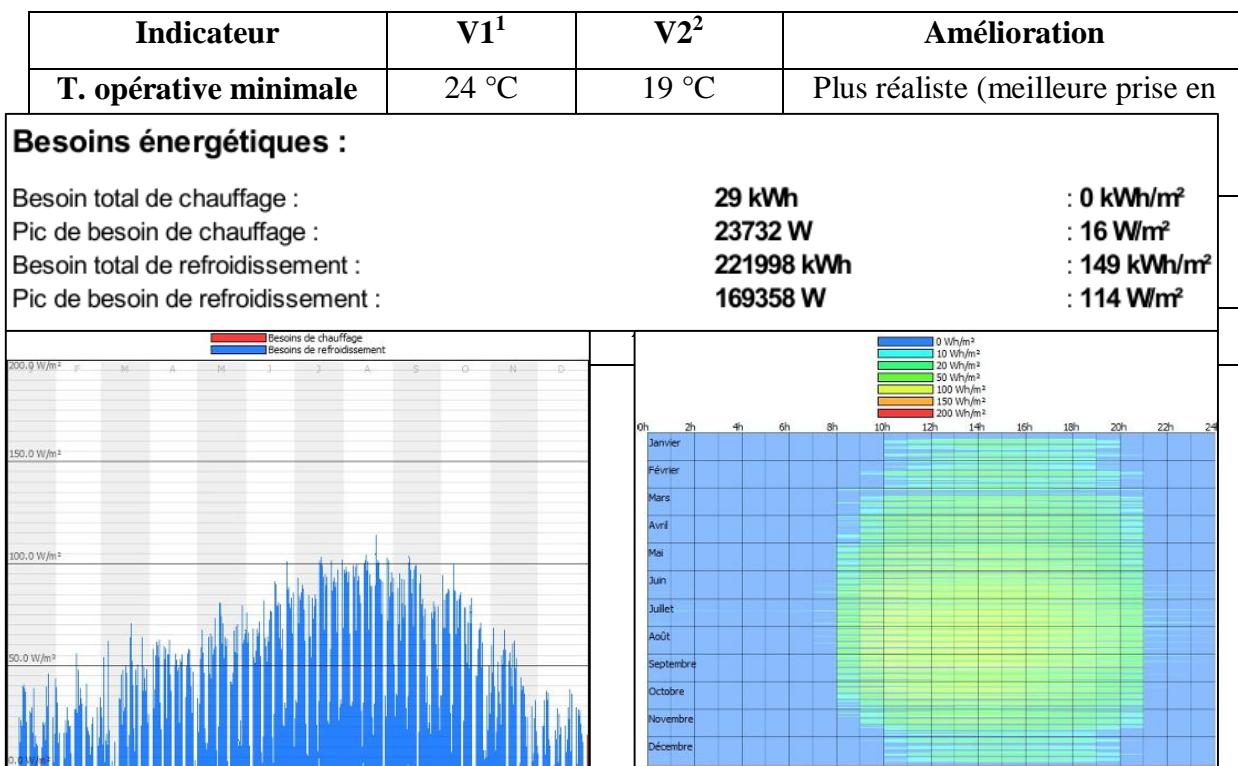


Figure 104 : Extrait du rapport (l'auteur 2025).

IV.6.2. Besoins énergétiques (Chauffage et Refroidissement) :

Table 8 : La comparaison des besoins énergétiques (l'auteur 2025).

Type de besoin	V1	V2	Evolution
Chauffage (KWh)	1 257	29	-97.6 %
Refroidissement (KWh)	641 174	221 998	-65 %
Refroidissement (KWh/m²)	441	149	L'efficacité bien meilleure

○ Analyse :

- En V2, les besoins de chauffage et de climatisation sont nettement réduits grâce à l'application des protections solaire et l'isolation des parois.

¹ V1 : La première simulation (l'état initiale)

² V2 : La deuxième simulation (après l'application des solutions proposées)

IV.6.3. La répartition des températures en occupation :

Température d'air	< 15 °C	≥ 15 °C	≥ 16 °C	≥ 17 °C	≥ 18 °C	≥ 19 °C	≥ 20 °C	≥ 21 °C	≥ 22 °C	≥ 23 °C	≥ 24 °C	≥ 25 °C	≥ 26 °C	≥ 27 °C	≥ 28 °C	≥ 29 °C	≥ 30 °C
Nb. d'heures en occupation	0	0	0	0	0	0	0	4	14	24	56	423	2344	5	1	0	0
Nb. d'heures cumulées en occupation	0	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2867	2853	2829	2773	2350	6	1	0	0
Nb. d'heures	0	0	0	0	0	10	25	68	119	317	676	1319	3592	1104	518	533	478
Nb. d'heures cumulées	0	8759	8759	8759	8759	8759	8749	8724	8656	8537	8220	7544	6225	2633	1529	1011	478
Température opérative	< 15 °C	≥ 15 °C	≥ 16 °C	≥ 17 °C	≥ 18 °C	≥ 19 °C	≥ 20 °C	≥ 21 °C	≥ 22 °C	≥ 23 °C	≥ 24 °C	≥ 25 °C	≥ 26 °C	≥ 27 °C	≥ 28 °C	≥ 29 °C	≥ 30 °C
Nb. d'heures en occupation	0	0	0	0	0	0	1	5	14	23	59	108	820	1290	551	0	0
Nb. d'heures cumulées en occupation	0	2871	2871	2871	2871	2871	2871	2870	2865	2851	2828	2769	2661	1841	551	0	0
Nb. d'heures	0	0	0	0	0	8	26	57	95	247	628	939	2000	2576	1135	434	614
Nb. d'heures cumulées	0	8759	8759	8759	8759	8759	8751	8725	8668	8573	8326	7698	6759	4759	2183	1048	614

Figure 105 : Répartition des températures en occupation (Extrait du rapport, l'auteur 2025).

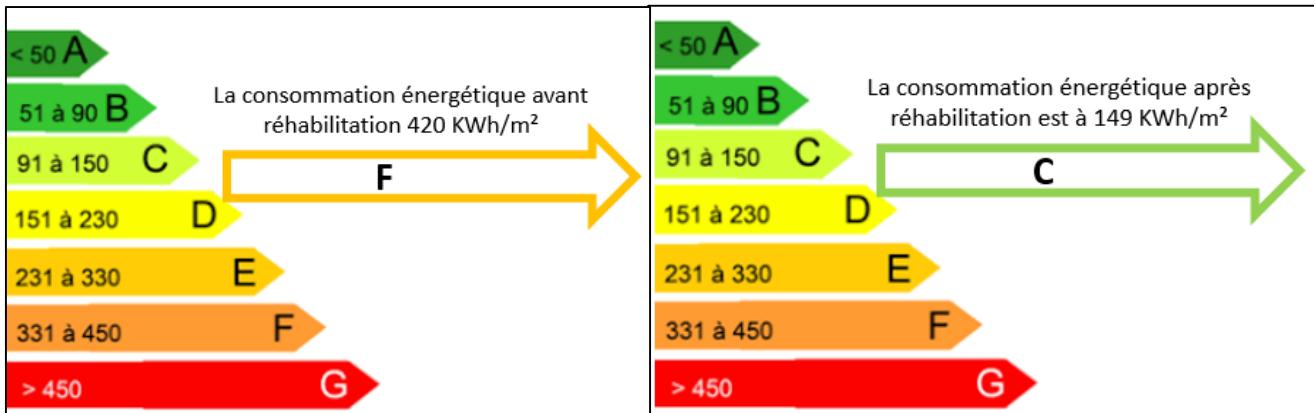
Table 9 : Comparaison de la répartition des températures en occupation (l'auteur 2025).

Température	V1	V2	Evolution
Température ≥ 30 °C	50 h	0 h	+1 175 %
Température ≥ 28 °C	1621 h	6 h	-99.6 %
Température < 25 °C	8 h	102 h	éliminé

○ Analyse :

- Pour les températures inférieures à 25 °C, l'amélioration thermique introduite dans V2 (probablement par des protections solaires et la ventilation) a permis de faire réduire la température intérieure pendant certaines périodes. Toutefois, la température reste souvent ≥ 25 °C.
- Pour les températures ≥ 28 °C, cette réduction indique une amélioration radicale de la gestion des apports solaires, et probablement un système de régulation thermique plus efficace en V2.
- Pour les températures ≥ 30 °C, la surchauffe extrême est totalement éliminée en V2. Cela traduit une meilleure maîtrise du confort d'été, un enjeu essentiel dans les climats chauds comme celui de Bejaia.

La réhabilitation énergétique de l'immeuble est passée de la catégorie F avec une consommation de 420 KWh/m²/an à la catégorie C avec une consommation de 149 kWh/m²/an.



Conclusion

L'étude approfondie du Conservatoire musical de Bejaïa, ancien palais de justice de la ville, met en lumière les défis et les opportunités liés à la réhabilitation thermique d'un édifice patrimonial en climat méditerranéen chaud. Par son architecture coloniale, ses matériaux massifs et sa forte valeur historique, le bâtiment présente à la fois un potentiel remarquable et des contraintes importantes en matière de confort thermique.

L'analyse architecturale et constructive fait apparaître une structure solide mais énergétiquement fragile, notamment en raison de la forte exposition solaire, de larges

ouvertures vitrées et d'une absence de dispositifs de protection solaire. Les simulations thermiques menées avec ArchiWIZARD ont confirmé une surchauffe chronique, un confort d'été très faible, et une dépendance énergétique excessive au refroidissement.

Cependant, des solutions techniques discrètes, compatibles avec la conservation du patrimoine telles que le triple vitrage, les protections solaires internes, la ventilation naturelle, et l'isolation par l'intérieur. Ont démontré une amélioration significative du confort thermique et une réduction des besoins énergétiques. Les résultats post-intervention montrent une baisse importante des températures extrêmes, une réduction de plus de 60 % des besoins en refroidissement, et une élimination quasi totale des périodes de surchauffe.

Cette étude illustre ainsi la possibilité d'une réhabilitation énergétique respectueuse de l'identité patrimoniale, capable d'offrir un meilleur confort aux usagers tout en s'adaptant aux enjeux climatiques contemporains.

Conclusion générale

L'ensemble des chapitres étudiés met en évidence l'importance cruciale de concilier la préservation du patrimoine bâti avec les exigences contemporaines de l'efficacité énergétique. Le patrimoine architectural, porteur de mémoire, de culture et d'identité, constitue une richesse à valoriser, mais aussi un défi lorsqu'il s'agit de répondre aux enjeux environnementaux actuels.

À travers l'analyse théorique et l'étude de cas concrets, il apparaît que la réhabilitation énergétique des bâtiments anciens n'est pas seulement possible, mais également bénéfique, à condition d'adopter des solutions techniques adaptées, respectueuses du caractère historique et architectural des édifices. Les interventions doivent viser un équilibre subtil entre conservation, confort thermique, réduction de l'empreinte carbone et intégration des normes modernes.

Le cas du Conservatoire musical de Bejaïa illustre de manière exemplaire cette collaboration entre efficacité énergétique et sauvegarde patrimoniale. Il démontre que, grâce à des stratégies ciblées et à une approche méthodique, il est possible de transformer un bâtiment énergétiquement fragile en un espace efficace, sans altérer son identité.

Ainsi, la réhabilitation énergétique du patrimoine ne se résume pas à une démarche technique : elle constitue un engagement culturel, environnemental et sociétal pour construire des villes durables, résilientes et ancrées dans leur histoire.

Pour renforcer l'efficacité des démarches futures, il est recommandé d'approfondir les recherches sur les matériaux réversibles et peu invasifs compatibles avec les spécificités du bâti ancien, afin de préserver son intégrité tout en améliorant ses efficacités thermiques. Le développement d'outils de simulation adaptés aux caractéristiques architecturales et thermiques des bâtiments patrimoniaux s'avère également essentiel. Une collaboration étroite entre architectes, historiens, ingénieurs et artisans devrait être encouragée pour garantir une approche pluridisciplinaire et cohérente. Il serait pertinent d'instaurer des formations spécialisées à destination des professionnels du bâtiment, axées sur la réhabilitation énergétique du patrimoine. Par ailleurs, la mise en œuvre de projets pilotes permettrait de tester et d'adapter les solutions techniques dans des contextes variés.

L'hypothèse de départ supposait que des stratégies énergétiques adaptées peuvent être mises en œuvre dans des bâtiments anciens sans compromettre leur identité architecturale.

À la lumière des résultats obtenus (notamment les simulations thermiques, les relevés architecturaux et les propositions de solutions techniques) nous pouvons confirmer cette hypothèse.

Les interventions passives et réversibles proposées (isolation par l'intérieur, amélioration des menuiseries, protections solaires discrètes) ont permis d'envisager une réduction significative des consommations énergétiques, tout en respectant les caractéristiques patrimoniales du bâtiment.

Une seconde hypothèse portait sur la reproductibilité de cette démarche à d'autres bâtiments similaires. Bien que chaque édifice possède ses particularités, l'analyse a montré que la méthodologie appliquée au conservatoire peut servir de base adaptable, ce qui confirme en partie cette hypothèse, à condition d'ajuster les solutions au contexte architectural et climatique de chaque cas.

Enfin, la création de dispositifs d'aide financière et d'incitations réglementaires dédiés à ce type d'intervention faciliterait la réalisation de ces projets tout en respectant la valeur historique des édifices concernés.

Références Bibliographiques

- AITOUALI.H, ALLALI.C & BARKA.K. (2017). *Valorisation du patrimoine par la création architecturale contemporaine.* mémoire de recherche , Université Abderrahmane Mira Bejaia. Consulté le 01 15, 2025
- Akli, Kezzar Med. (2023, 03 05). *Réglementation de la construction en Algérie.pdf.* Récupéré sur slide share: <https://fr.slideshare.net/slideshow/réglementation-de-la-construction-en-algrie>pdf/256229452
- anabf.org. (2023, 08). *réhabilitation énergétique et confort thermique.* Récupéré sur PIERRE D'ANGLE: <https://anabf.org/pierredangle/dossiers/renover-l-ancien/rehabilitation-energetique-et-confort-thermique>
- Basma, B. (2023). *l'impact de la façade ventilée sur le confort thermique.* l'Université 08 Mai 1945 de Guelma . Consulté le 02 21, 2025
- BENABDALLAH, C. (2018). *Techniques de réhabilitation et de restauration .* Université Ahmed Draïa d'Adrar .
- BENRABAH, K. (2023). *Réhabilitation énergétique d'un bâtiment du tissu colonial à Alger.* Mémoire de Master, alger. Consulté le 04 20, 2025
- Brocato, F., & Aveni, A. (2015). *Restaurer le patrimoine : diagnostic et méthodologie d'intervention.* Éditions du Patrimoine.
- Cerema . (2021). Récupéré sur Ventilation et confort dans la rénovation énergétique du patrimoine : <https://www.cerema.fr/fr>
- Charte de Venise, x. (1964). Charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites. 10.
- Choay, F. (1996). *L'allégorie du patrimoine.* Editions du seuil.
- Choay.F. (1992). *Li>Allégorie du patrimoine.*
- c-larevue.com. (2025, 02 21). *Stratégies pour améliorer l'efficacité énergétique dans les bâtiments anciens.* Récupéré sur C-Larevue: <https://c-larevue.com/strategies-pour-ameliorer-lefficacite-energetique-dans-les-batiments-anciens>
- CRMS. (2004). préserver le patrimoine pour inventer l'avenir. Consulté le 01 10, 2025, sur <http://www.crms.irisnet.be/fr>
- DECRET. (2015). *JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 07, 04.*
- docs.infoenergie38.org. (2022, 10 19). *L'isolation du bâti ancien.* Récupéré sur https://docs.infoenergie38.org/isolation_bati_ancien.pdf
- Fabbri, A. (2017). *Stratégies d'intervention sur le bâti ancien.* édition du Patrimoine.
- fastercapital.com. (2025, 02 20). *Couts de l'énergie evaluation des couts des dépenses énergétiques solutions durables.* Récupéré sur Faster Capital: <https://fastercapital.com/fr/contenu/Couts-de-l-énergie---évaluation-des-couts-des-dépenses-énergétiques---solutions-durables.html>

Références Bibliographiques

- Feilden, B. (2003). *Conservation of Historic Buildings*, Architectural Press.
- Feilden, B. (2003). *conservation of historic buildings*. Architectural Press.
- Feist, Wolfgang & Schnieders, Jurgen. (2008). energy efficiency. Dans *passive house standard* (pp. 511-517).
- fr.scribd.com. (2025, 02 20). *Cours Gestion Technique Centralisée*. Récupéré sur Scribd: <https://fr.scribd.com/document/566071655/Cours-Gestion-technique-centralisee>
- guides sur la performance énergétique du bati ancien*. (s.d.). Récupéré sur CEREMA.
- ICOMOS. (1964). Récupéré sur Charte de Venise .
- idelecplus.com. (2025, 02 20). *innovations au service de l'efficacité énergétique des bâtiments*. Récupéré sur Idelec-plus: <https://idelecplus.com/5-innovations-au-service-de-lefficacite-energetique-des-batiments#:~:text=Les%20panneaux%20a%C3%A9rovolt%C3%AFques%20rentrent%20dans,l'efficacit%C3%A9%20de%20sa%20microgrid>.
- In Kentouche.N, B. (2008). *LE PATRIMOINE ET sa place dans LES POLITIQUES*. Thèse de magister, UNIVERSITE MENTOURI FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE GEOGRAPHIE ET DE L'AMENAGEMENT .
- issuu.com. (2025, 02 20). *4 TYPOLOGIE D'INTERVENTION SUR LE PATRIMOINE*. Récupéré sur issuu: https://issuu.com/toumafatasayah/docs/memoire_word_issus/s/11553461
- Jean-Yves, R. (2003). *Réhabiliter le patrimoine : réinventer les usages*. Editions Eyrolles.
- KASMI, M. E. (2022). *Conservation et Valorisation du Patrimoine Architectural et Urbain*. Mémoire de Fin de Cycle , Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –, Tlemcen.
- KHADRAOUI, M. (2019). *Etude et optimisation de la façade pour un confort thermique*. Université de Mohamed Khider, Biskra. Consulté le 02 20, 2025, sur thesis.univbiskra.dz/4017/
- Lévy, A. (2000). *Réhabilitation urbaine et patrimoine architectural*. Edition du Moniteur.
- librairie.ademe.fr. (2018). *ADEME*. Récupéré sur agence de la transition écologique: <https://librairie.ademe.fr>
- Marsral, A. J. (2011). *Zero Energy Building*.
- Mazouz, F. (2015). Le renouvellement du patrimoine bâti vétuste en Algérie. Le cas du centre-ville d'Oran. Dans A. A. cteurs (Éd.), (pp. 151-170). Oran. Récupéré sur <https://shs.cairn.info/revue-droit-et-societe1-2015-1-page-151?lang=fr#s1n5>
- Morillon, J., Dupont, A., & Lefèvre, C. (2011). *Les facteurs de l'efficacité énergétique dans les batiments intelligents*. Presses Universitaires de Grenoble.
- Nallet, C. (2015). *Le bati ancien et l'humidité : diagnostics et remèdes*. édition Eyrolle.
- Noura,L ., Oughlissi,S. (2015). *L'apport de la filière sèche dans la réhabilitation durable d'un patrimoine bâti. Cas : L'ex tribunal dans la vieille ville de Bejaia*. université de bejaia, bejaia.
- openarchive.icomos.org. (2005). *ICOMOS*. Récupéré sur réversibilité et interventions sur le patrimoine: https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2685/1/MNDD_FRENCH.pdf

Références Bibliographiques

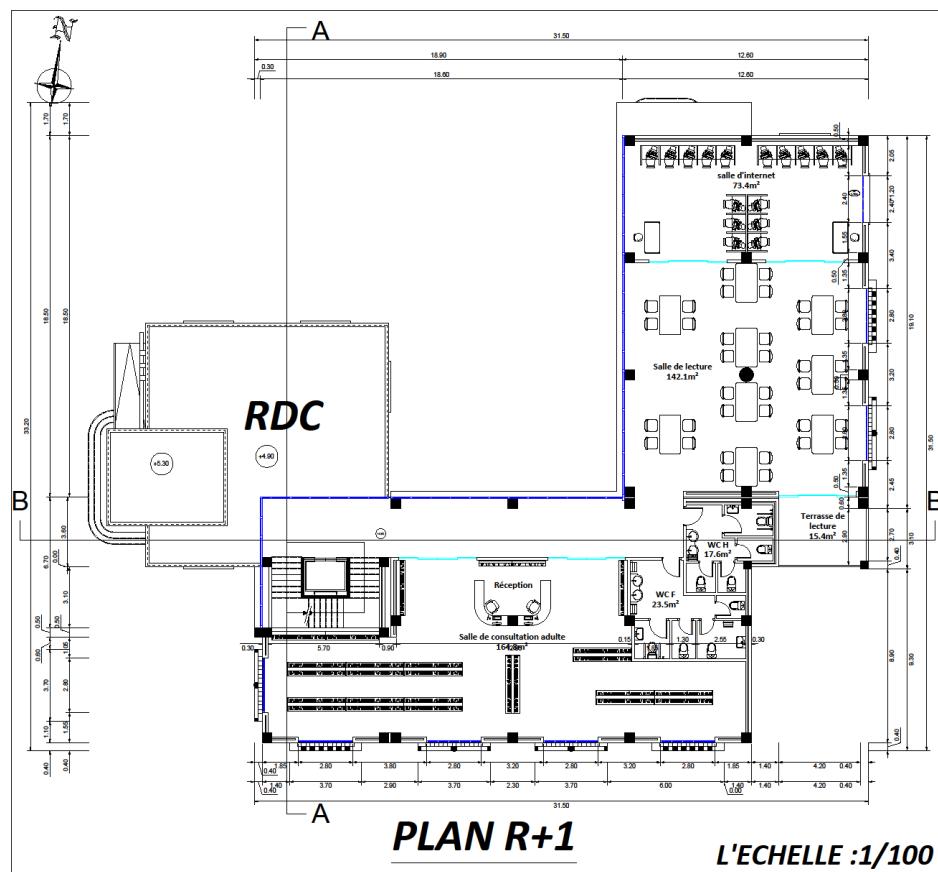
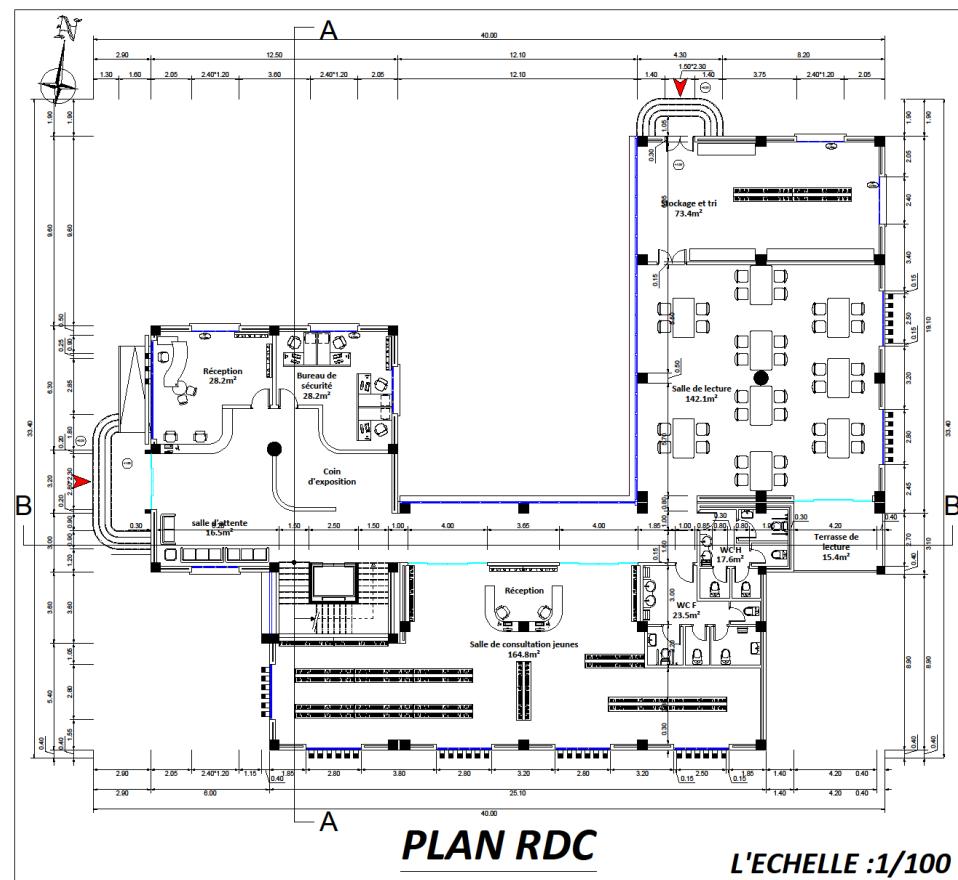
- Petzet, M. (2004). *Principes de conservation et d'intervention sur les monuments historiques*.
- SGORBINI, F. (2013, novembre 06). isoler par l'intérieur ou isoler par l'extérieur. *apparu dans l'acte de colloque : réhabiliter les façades du XX ème siècle , patrimoine 21*, 01-32.
- Terp.F. (2008). Energie-Cités. pp. 01-02. Consulté le 01 12, 2025, sur <http://www.energy-cities.eu>
- Tom, W. (2022). *Natural Building Techniques*. the Crowood Press.
- Tricaud.P. (2010). *Conservation et transformation du patrimoine vivant : Étude des conditions de préservation des valeurs des patrimoines évolutifs*. Thèse de doctorat en Aménagement de l'espace, Université Paris-Est, paris.
- www.ademe.fr. (2021). ADEME. Récupéré sur La rénovation énergétique: www.ademe.fr
- www.alec-grenoble.org. (2023). Consulté le 04 21, 2025, sur ALEC (agence locale de l'énergie et du climat): <https://urlz.fr/urnb>
- www.architecte-batiments.fr. (2025, 05 22). *architecte de batiments*. Récupéré sur Rénovation des batiments historiques : techniques et réglementations: <https://www.architecte-batiments.fr/renovation-batiments-historiques-techniques/>
- www.cerema.f. (2022). CEREMA. Récupéré sur Solutions techniques compatibles avec le patrimoine.: <https://www.cerema.fr/fr/mots-cles/rehabilitation-du-bati-ancien>
- www.cerema.fr. (2020). Cerema. Récupéré sur Réhabilitation énergétique du bâti ancien.: <https://www.cerema.fr/fr/mots-cles/rehabilitation-du-bati-ancien>
- www.cerema.fr. (2021). TCAU. Récupéré sur Réhabilitation énergétique du patrimoine architectural: <https://www.cerema.fr/fr/actualites/rehabilitation-energetique-batiments-anciens-nouvelle>
- www.columbiaskylights.com. (2025). *TRIPLE VITRAGE SUR TOUS LES MODÈLES DE PUITS DE LUMIÈRE*. Récupéré sur Columbia: <https://www.columbiaskylights.com/fr/pourquoi-columbia/triple-vitrage-sur-tous-les-produits/>
- www.cstb.fr. (2019). CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment). Récupéré sur Confort thermique dans les batiment: www.cstb.fr
- www.culture.gouv.fr. (2021). Ministère de la Culture. Récupéré sur Guide sur la réhabilitation énergétique du patrimoine protégé: <https://www.culture.gouv.fr/Thematiques/monuments-sites/monuments-historiques-sites-patrimoniaux/Themes-environnementaux/La-performance-energetique-dans-les-batiments-d-interet-patrimonial>
- www.culture.gouv.fr. (2025, 05 22). MINISTÈRE DE LA CULTURE. Récupéré sur Conservation-restauration: <https://www.culture.gouv.fr/thematiques/conservation-restauration>
- www.ecologie.fr. (2020). Ministère de la transition écologique. Récupéré sur Guide de la rénovation énergétique du bati ancien: www.ecologie.fr
- www.egokiefer.ch. (2025). Un climat sain. Récupéré sur EgoKiefer: <https://www.egokiefer.ch/fr/fenetres/accessoires/egoair/>
- www.extension-renovation.f. (2025, 04 01). Extension Renovation.fr. Récupéré sur <https://www.extension-renovation.fr/devis/>

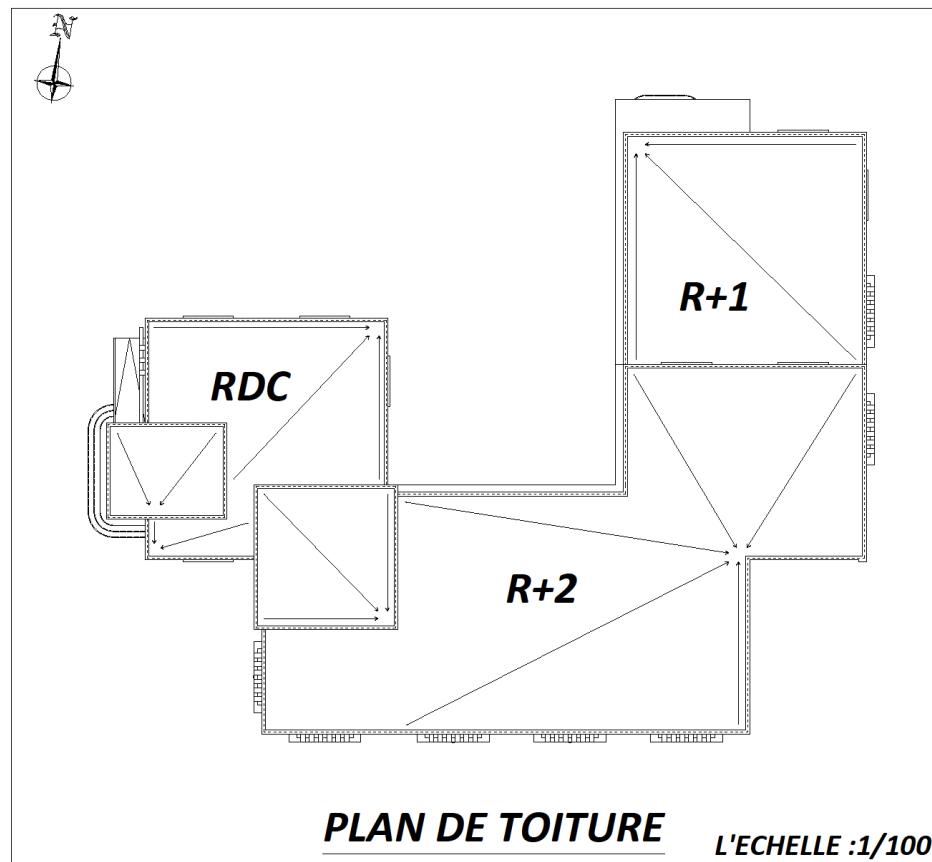
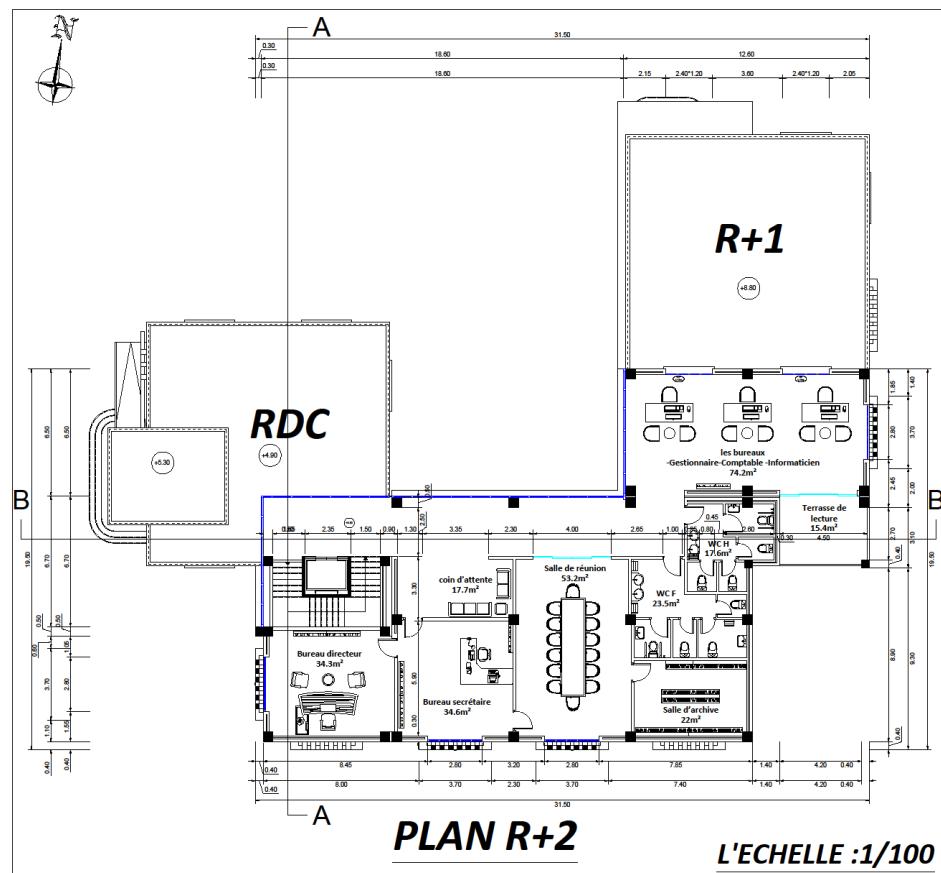
Références Bibliographiques

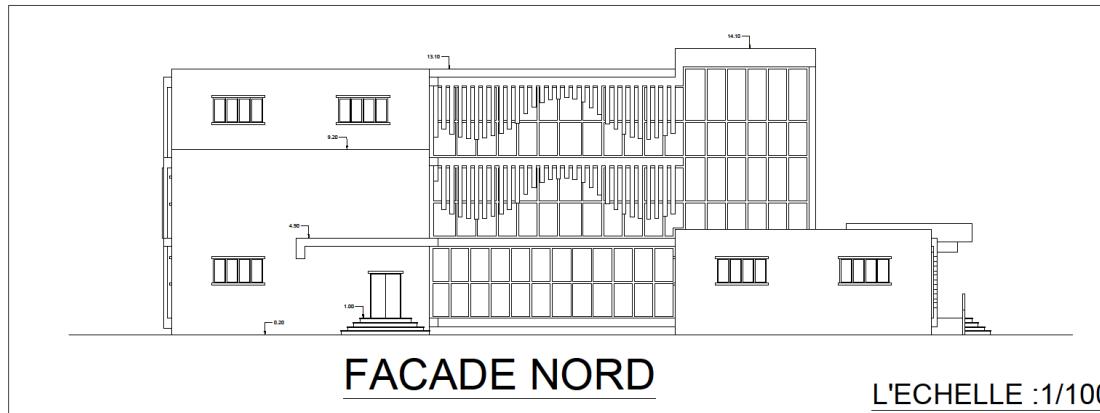
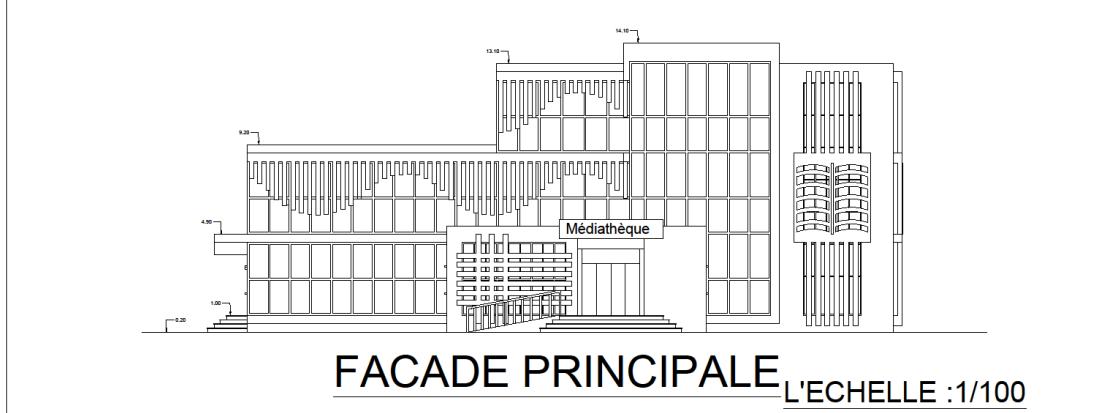
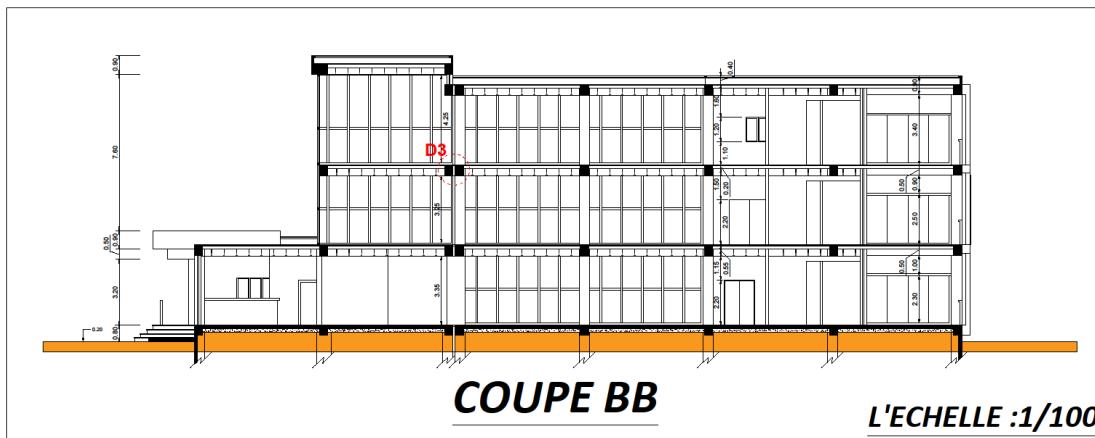
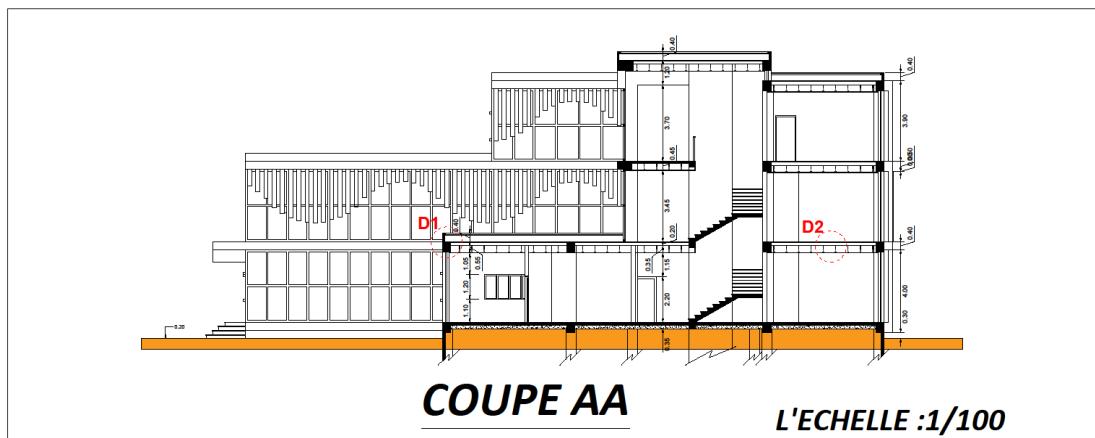
- www.inha.fr. (2020). *INHA*. Récupéré sur risques d'interventions énergétiques sur le patrimoine ancien: <https://www.inha.fr/>
- www.joradp.dz. (1998, 06 15). *Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel*. Récupéré sur organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture: <https://www.joradp.dz/FTP/Jo-Francais/1998/F1998044.pdf>
- www.kelwatt.fr. (2025, 01 20). *Kelwatt by selectra*. Récupéré sur <https://www.kelwatt.fr/>
- www.otovo.fr. (2025, 02 20). *Panneau Aérovoltaïque / Le Guide Complet (2024)*. Récupéré sur Otovo: <https://www.otovo.fr/blog/le-solaire-et-vous/aerovoltaique/>
- www.polychimie.be. (2021). *Panneau d'isolation en liège - Polychimie*. Récupéré sur POLYCHIMIE: <https://www.polychimie.be/produit/etancheite/panneau-disolation-en-liege/>
- www.skyscrapercity.com. (2021, juillet 13). *Projects News [Béjaïa]*. Consulté le 04 01, 2025, sur SKYSCRAPER CITY: <https://www.skyscrapercity.com/threads/projects-news-b%C3%A9ja%C3%A9a.1541050/page-23>
- www.storesisotra.fr. (2019). *Stores d'extérieur pour entre autres les fenêtres en plastique*. Récupéré sur ISOTRA: <https://www.storesisotra.fr/stores-dexterieur-pour-entre-autres-les-fenetres-en-plastique-cetta-65>
- www.unesco.org/fr. (2025, 05 22). *unesco*. Récupéré sur Recommandation concernant la sauvegarde des ensembles historiques ou traditionnels et leur rôle dans la vie contemporaine: <https://www.unesco.org/fr/legal-affairs/recommendation-concerning-safeguarding-and-contemporary-role-histo>.
- www.warmupfrance.fr. (2025, 02 20). *Qu'est-ce que le chauffage au sol ? Quels avantages et inconvénients ?* Récupéré sur Warmup: <https://www.warmupfrance.fr/blog/quest-ce-que-le-chauffage-au-sol>

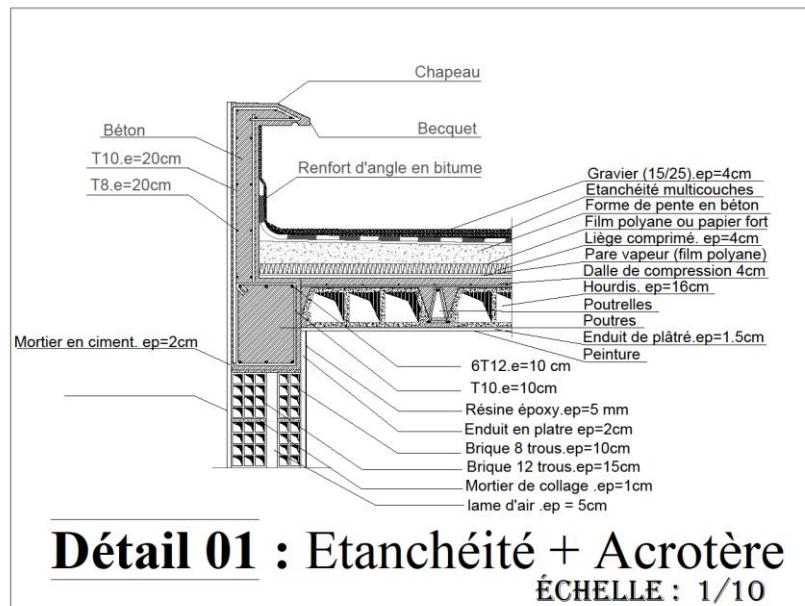
Annexes

Projet fin d'étude (Médiathèque) :

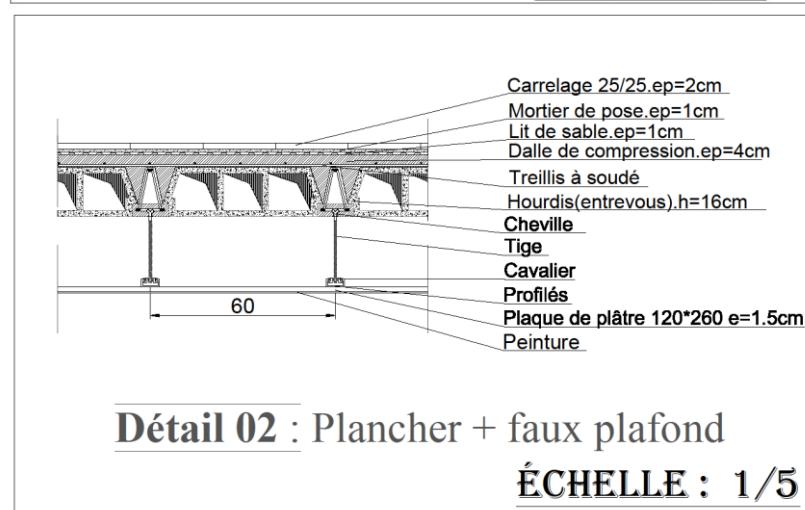




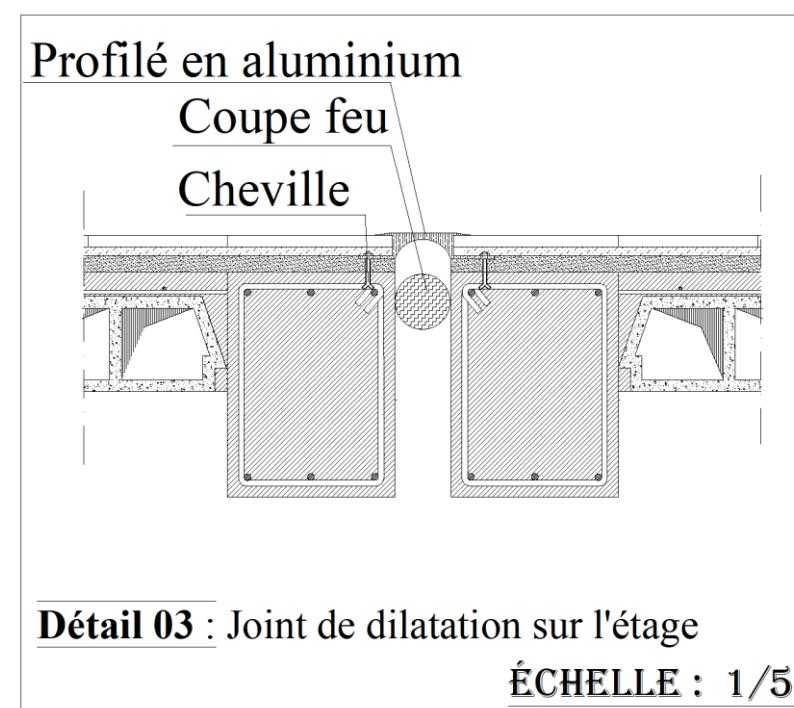




Détail 01 : Etanchéité + Acrotère
ÉCHELLE : 1/10



Détail 02 : Plancher + faux plafond
ÉCHELLE : 1/5



Détail 03 : Joint de dilatation sur l'étage
ÉCHELLE : 1/5

Rendu en 3D



