



Faculté de Technologie  
Département d'Architecture



**THÈME :**

**Intégration des matériaux intelligents dans le processus de  
conception architecturale bioclimatique des bâtiments tertiaire  
Cas d'étude : Hotel Cristal – Sidi-Ahmed (Bejaia)**

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

**« ARCHITECTURE ENVIRONNEMENT ET TECHNOLOGIE »**

Préparé par :

**Daba LARBI**

<b>Mr Allouache Samir</b>		<b>Département architecture de Bejaia</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Mr Khadraoui Amine</b>		<b>Département architecture de Bejaia</b>	<b>Encadreur</b>
<b>Mr Amar Amir</b>		<b>Département architecture de Bejaia</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr Bounouni Sofiane</b>		<b>Département architecture de Bejaia</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mme Mecheri Lynda</b>		<b>Département architecture de Bejaia</b>	<b>Examineur</b>

# REMERCIEMENT

*Je remercie dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la volonté De mener à bien notre Travail.*

*Ainsi que ma famille de m'avoir soutenus pendant mon cursus Universitaire.*

*Je tiens à remercier les encadreurs Mr BOUNOUNI Sofiane et Mr ALLOUACHE Samir pour Leurs conseils.*

*Ainsi j'adresse mes remerciements aux enseignants(es) qui mon aider dans mes études de la licence et de master.*

*Je souhaite ainsi, remercier tous l'ensemble des jurys d'avoir examiné mon travail.*

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents,*

*Pour tous leurs efforts et leurs sacrifices.*

*A mes frères,*

*A toute ma famille,*

*A mes amies,*

*Et à toute personne qui m'a aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.*

## TABLE DES MATIERES

Remerciement

Dédicace

Table des matières

Listes des figures

Liste des tableaux

### CHAPITRE INTRODUCTIF

I.	Introduction générale.....	01
II.	Problématique.....	02
III.	Hypothèse de recherche.....	03
IV.	Objectifs de recherche.....	03
V.	Analyse conceptuelle.....	04
VI.	Méthodologie de recherche.....	05
VII.	Structure de mémoire.....	06

### PARTIE 1 : THEORIQUE

#### CHAPITRE I : LA DURABILITE ET L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

<b>Introduction.....</b>	<b>07</b>
I. Le développement Durable.....	07
I.1. Définition Du Développement Durable.....	07
I.2. La Conception Durable En Architecture.....	08
I.2.1. Principes De La Conception Durable En Architecture.....	09
I.2.1.1. Connaître l'emplacement .....	09
I.2.1.2. Assurer une relation avec la nature.....	09
I.2.1.3. Maitriser les impacts sur l'environnementaux.....	09
I.2.1.4. Comprendre les gens.....	09
I.2.1.5. Le confort et la santé à l'intérieur.....	09
I.2.1.6. Choisir les bons matériaux.....	09
a)-Production.....	10
b)-Transformation .....	10
c)-Mise en œuvre .....	10
d)-Utilisation .....	10
e)-Recyclage .....	11
I.3. L'architecture Bioclimatique.....	11

I.3.1. Définition.....	11
I.3.2 Généralité Sur L'architecture Bioclimatique.....	11
I.3.3. Les Principes De L'architecture Bioclimatique.....	12
I.3.3.1. Conservation D'énergie.....	12
I.3.3.2. Travailler Avec Le Climat.....	13
I.3.3.3. Gestion de l'air.....	14
I.3.3.4. Gestion de l'eau.....	15
I.3.3.5. Réduire L'utilisation De Ressources.....	15
I.3.3.6. Respect Des Utilisateurs.....	16
I.3.3.7. Respect Du Site.....	16
I.3.3.8. Le Bon Choix Des Matériaux.....	16
I.3.3.8.1. Des matériaux à forte inertie pour une architecture bioclimatique....	17
I.3.3.9. Mise En Œuvre Du Chantier.....	19
I.3.4. Méthode De L'architecture Bioclimatique.....	19
I.3.4.1. La stratégie dans la période hivernale.....	20
A. Capturer et Protéger de la chaleur.....	21
B. Transformer Et Diffuser La Chaleur.....	23
C. Conserver La Chaleur/La fraîcheur.....	24
I.3.4.2. La stratégie dans les périodes de surchauffe.....	25
A. Protéger ou Contrôler.....	25
B. Dissiper ou Aérer.....	25
C. Rafraîchir.....	26
D. Minimiser.....	26
I.3.5. Quelques Techniques Utilisées Dans L'architecture Bioclimatique.....	26
I.3.5.1. Le Puits Canadien .....	26
I.3.5.2. L'utilisation Des Panneaux Solaires photovoltaïques.....	27
I.3.5.2.1. Les différentes installations photovoltaïques.....	28
a) Les installations sur site isolé.....	28
b) Les installations raccordées au réseau de	
c) distribution public.....	29
I.3.5.3. L'utilisation Des Eoliennes.....	32
I.3.5.3.1. Les types des éoliennes.....	33
a) Les éoliennes à axe horizontal.....	33
b) Les éoliennes à axe vertical.....	33
c) Les éoliennes turboliennes.....	34
I.3.5.3.2. Critères de choix de sites pour l'installation	
Des éoliennes.....	35
A- Le vent.....	35
B- L'accessibilité du site d'implantation.....	36
C- La connexion au réseau électrique.....	36
D- L'éloignement par rapport aux zones d'habitations.....	36
<b>Conclusion.....</b>	<b>37</b>

## CHAPITRE II : LA PRESENTATION DES DIFFERENTS MATERIAUX INTELLIGENTS EMERGES DANS LE DOMAINE CONSTRUCTIF

<b>Introduction</b> .....	38
<b>I. Les Matériaux Intelligents</b> .....	39
I.1. Définition.....	30
II.1. Les Alliages à Mémoire de Forme.....	40
II.1.1. Définition.....	40
II.1.2. Famille d’alliage.....	40
II.1.3. Notions de base.....	41
II.1.4. Applications Des « AMF » Dans La Construction.....	42
a) Applications pour la réparation des structures en béton.....	42
b) Applications pour la fermeture de fissures dans le béton.....	43
c) Applications pour la création de précontraintes dans des structures En béton.....	45
d) Applications pour le contrôle sismique des structures.....	46
II.2. Les Matériaux Piézoélectriques.....	48
II.2.1. Définition.....	48
II.2.2. Le phénomène de la piézoélectricité.....	48
II.2.3. Principales Classes De Matériaux.....	49
A. Céramiques massives.....	49
B. Céramiques multicouches.....	50
II.2.4. Les Composites Piézoélectriques.....	51
II.2.2.4. Applications Des Matériaux Piézoélectrique .....	51
1. Le Ciment Intelligent.....	52
2. Le Ciment Géo-Polymère « intelligent ».....	53
2.1. Les besoins énergétiques pour la fabrication.....	55
2.2. Les émissions de CO2 lors de la fabrication.....	55
3. Les Bétons Intelligent .....	55
3.1. Les Bétons Photo-Photovoltaïque.....	55
3.2. Les Bétons Auto-Cicatrisants.....	56
3.3. Les Bétons Auto-Sensibles.....	58
3.4. Les bétons auto-ajustables.....	58
3.5. Les Bétons Flexibles.....	58
3.6. Les Bétons Photo-catalytiques.....	60
3.7. Les Bétons Translucides.....	61
3.7.1. Les utilisations du béton translucide.....	61
3.7.2. Les Avantages du béton translucide.....	61
4. Les Vitrages Intelligents.....	62
4.1 Le Vitrage photovoltaïque.....	62
4.1.1. Installation des vitrages photovoltaïques.....	62
4.2. Les Vitrages opacifiants.....	63
4.2.1. Fonctionnement.....	63
4.2.2. Les utilisations des verres opacifiant.....	65

4.3. Les vitrages autonettoyants.....	65
4.3.1. Les deux principes des vitrages autonettoyants.....	66
4.3.2. Les avantage.....	66
4.4. Les vitrages thermo-chromes.....	67
4.4.1. Les avantage des vitrages thermo-chromes.....	68
II.3. Autres Matériaux Intelligents.....	68
II.3.1. Le Bois Transparent.....	68
II.3.1.1. Les avantage du bois transparent.....	69
II.3.2. Les Produit A Changement De Phase.....	69
II.3.2.1. Le principe de fonctionnement.....	70
II.3.2.2. Les atouts des produits a changement de phase.....	71
II.3.3. La Brique Intelligente.....	72
II.3.3.1. Les utilisations de la brique intelligente.....	72
II.3.3.2. Les atouts de la brique intelligente.....	73
II.3.4. Le Plâtre Antichoc, Antipollution Et Antibruit.....	73
II.3.4.1. Les utilisations de ce type de plâtre.....	74
II.4. Les Peintures Intelligentes.....	75
II.4.1. La Peinture De Régulation d’humidité .....	75
II.4.1.1. Les avantages d'appliquer de la peinture.....	75
II.4.1.2. L’utilisation de la peinture .....	75
II.4.2 La peinture thermo-chromique.....	76
II.4.2.1 Le fond utilisé pour la pose de la peinture thermo-chromique.....	77
II.4.3. La peinture acoustique.....	77
II.4.3.1. Les atouts de la peinture acoustique.....	77
II.4.6. La Peinture Dépolluante.....	78
II.4.6.1. Les utilisations de la peinture dépolluante.....	78
<b>Conclusion.....</b>	<b>79</b>

## PARTIE 2 : PRATIQUE

### CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET INVESTIGATION

<b>Introduction.....</b>	<b>80</b>
I. La présentation de la ville de Bejaia.....	80
I.1. Situation et limite.....	80
I.2. Le climat et température.....	80
I.2.1. Le vent.....	81
II. Choix du cas d’étude.....	81
II.1. Critère du choix.....	81
III. Présentation du cas d’étude.....	81
III.1. Situation.....	81
III.2. Fiche technique et limites du projet.....	83
III.3. Organisation de projet.....	83
III.4. Plan de masse de projet.....	83

III.5. Présentation architecturale du cas d'étude.....	84
III.6. Les matériaux de construction.....	86
IV. Objectif de la campagne de mesures .....	87
IV.1. Protocol de travail .....	87
IV.2. Instrument de mesure.....	88
IV.3. Choix des points des mesures .....	88
IV.3.1. Au niveau du restaurant.....	89
IV.3.2. Evaluation de la température intérieure.....	90
IV.3.3.Synthèse.....	91
IV.4.1. Au niveau de la chambre.....	92
IV.4.2. Evaluation de la température intérieure.....	93
IV.3.3. Synthèse.....	94
<b>Conclusion.....</b>	<b>94</b>

## **CHAPITRE IV : EVALUATION DE LA PERFORMANCE THERMIQUE ET LES BESOINS DE CHAUFFAGE DANS LE BATIMENT**

<b>Introduction.....</b>	<b>95</b>
I. Présentation de la technique d'étude utilisée.....	95
I.1. L'outil de travail (simulation numérique) .....	95
I.2. Objectif de l'étude.....	96
I.3. Argumentation du choix des logiciels de Simulation .....	96
I.4. Présentation de logiciel de simulation ARCHIWIZARD.....	96
II. Déroulement de la simulation .....	97
II.1. Démarches de la simulation.....	97
1- Archicad / Sketch-up .....	97
2- Archiwizard.....	98
III. Résultat de la simulation du cas initial.....	100
III.1. Les matériaux utilisés pour la simulation dans le cas initial.....	100
III.2. Evaluation de la température intérieur (cas initial).....	101
III.3. Evaluation des déperditions de chaleur (cas initial).....	102
III.4. Evaluation des besoins énergétiques (cas initial).....	103
IV. La simulation des scenarios proposés.....	104
IV.1. Résultat de la simulation après l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur.....	105
IV.1.1. Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur.....	105
IV.1.2. Evaluation de la température intérieur après l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur.....	106
IV.1.3. Evaluation des déperditions de chaleur après l'inclusion D'un isolant thermique de l'intérieur.....	107
IV.1.4. Evaluation des besoins énergétiques après l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur.....	108
IV.3. Résultat de la simulation après l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur..	109

IV.2.1. Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur.....	110
IV.2.2. Evaluation de la température opérative intérieure après l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur.....	111
IV.2.3. Evaluation des déperditions de chaleur après l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur.....	112
IV.2.4. Evaluation des besoins énergétiques après l'inclusion d'un Isolant thermique de l'extérieur.....	113
IV.4. Résultat de la simulation avec les vitrages doubles.....	114
IV.4.1. Les matériaux utilisés pour la simulation avec les vitrages doubles...	115
IV.4.2. Evaluation de la température opérative intérieure avec les doubles vitrages.....	115
IV.4.3. Evaluation des déperditions de chaleur avec les doubles vitrages.....	116
IV.4.4. Evaluation des besoins énergétiques après l'inclusion Des doubles vitrages.....	117
V. Synthèse .....	119
<b>Conclusion</b> .....	120

## CONCLUSION GENERALE

<b>Conclusion général</b> .....	121
---------------------------------	-----

### Références bibliographique

### Annexes

### Résumé

### Summary

### ملخص

## LISTE DES FIGURES

Figure I-1: Schéma du développement durable, à la confluence de trois préoccupations.....	08
Figure I-2: Laine ou fibre de bois, un isolant très performant.....	10
Figure I-3: Schéma de l'architecture bioclimatique.....	11
Figure I-4: Photo d'une maisons bioclimatiques et écologiques de l'écoquartier néerlandais Eva Lanxmeer.....	13
Figure I-5: Photo d'une maison partiellement insérée dans une serre.....	14
Figure I-6: La consommation d'énergie depuis 19ème siècle. ....	15
Figure I-7: Image d'une expérience bioclimatique, avec matériaux composites.....	17
Figure I-8: Schéma montre les notions de base d'une conception bioclimatique.....	20
Figure I-9: Schéma globale d'implantation bioclimatique. ....	21
Figure I-10: les grandes surfaces utilisées en zone tempérée. ....	21
Figure I-11: la végétation pour limitation des apports solaires en été.....	22
Figure I-12: Mur en brique pleine, un matériau naturel conservant de la chaleur. ....	24
Figure II-13: La stratégie du froid. ....	26
Figure I-14: Schémas montre le principe d'un puits canadien.....	27
Figure I-15: La disposition des panneaux solaire sur le toit et sur la façade. ....	28
Figure I-16: Schémas d'une installation isolée de panneaux solaires.....	29
Figure I-17: Installation de panneaux solaires sur un toit particulier et sur un Abri d'un parking .....	29
Figure I-18: Eolienne pour maison individuel isolé dans un terrain dégagé. ....	32
Figure I-19: Photo et Schéma d'une éolienne à axe horizontal.....	33
Figure I-20: Photo d'une éolienne à axe vertical.....	34
Figure I-21: Image d'une éoliennes turboliennes en plein ville. ....	35
.....	
Figure II-1: Structure atomique de l'austénite et de la martensite.....	41
Figure II-2: Ouvrages ayant été réhabilité grâce à des AMF.....	42
Figure II-3: Schéma de modification d'une tour grâce à des tirants en AMF. ....	43
Figure II-4: Principe de béton armé intelligent.....	43
Figure II-5: Applications pour la fermeture de fissures dans le béton.....	44
Figure II-6: Poutre contenant des fils en AMF.....	45
Figure II-7: Ecrasement de cylindres en béton .....	46
Figure II-8: Diagramme de comparaison entre des cylindres non-confiné et confiné activement.....	46
Figure II-9: Schéma d'installation d'une barre en AMF sur un pont pour la prévention sismique.....	47
Figure II-10: Schéma d'installation des bretelles en AMF pour la prévention Sismique .....	47
Figure II-11 : Représentation schématique des contreventements AMF pour une structure De bâtiment en acier.....	48
Figure II-12: Effet piézoélectrique direct et inverse.....	49

Figure II-13: Constitution d'une céramique multicouche.....	50
Figure II-14: Schéma de principe de constitution d'un piézoélectrique.....	51
Figure II-15: Diagramme de l'évolution de l'utilisation du ciment depuis le 19eme siècle....	52
Figure II-16: Image des fibres de Carbones.....	53
Figure II-17: Image microscopique du gel de géo-polymère « cendre volante classe ».....	54
Figure II-18: Prototype d'un béton photovoltaïque.....	56
Figure II-19: Dessin représentatif des bactéries dans le béton auto-réparant avant et après La fissure.....	57
Figure II-20: Observation au stéréo microscope de la cicatrisation des fissures .....	57
Figure II-21: Un prototype d'un béton flexible. ....	59
Figure II-22: Une dalle réaliser avec du béton flexible.....	59
Figure II-23: Schémas de la procédure de purification dans le béton autonettoyant.....	60
Figure II-24: Jeu d'ombre et de lumière à travers le béton translucide.....	62
Figure II-25: Les composants d'une vitre photovoltaïque.....	63
Figure II-26: Des vitrages photovoltaïques décorés.....	63
Figure II- 27: Schéma montre le comportement des particules dans le vitrage opacifiant Avant et après l'alimentation en courant.....	64
Figure II-28: Une image d'un vitrage opacifiant avant et après la transformation.....	65
Figure II-29: La différence entre un vitrage classique et autonettoyant après 6 mois sans nettoyage.....	66
Figure II-30: Schémas des compositions des vitrages thermo-chromes.....	67
Figure II-31: L'opacification du vitrage pendant la journée.....	68
Figure II-32: Le bois esthétique développé produit à partir de bois naturel .....	69
Figure II-33: Le principe de fonctionnement des produits à changement de phase à base des capsules en polymère cire.....	70
Figure II-34: Température optimisée dans la pièce.....	70
Figure II-35: Comparaison des capacités d'accumulation.....	71
Figure II-36: « Argio », la brique intelligente.....	73
Figure II-37: Une plaque de plâtre antichoc, antipollution et antibruit. ....	74
Figure II-38: Les composants d'un plâtre antichoc, antipollution et antibruit. ....	74
Figure II-39: Tableau de peinture thermo-chromique change de couleur.....	76
Figure II-40: Rapport d'essai réalisé avec une couche insonorisation.....	78
Figure II-41: Schémas explicatif de la procédure d'élimination des polluants par la peinture.....	79
.....	
Figure III-1: Situation de la wilaya dans l'espace nord – est. ....	80
Figure III-5 Plan de situation du l'hôtel Cristal.....	82
Figure III-3 : Image du l'hôtel Cristal.....	82
Figure III-4: Plan de masse du cas d'étude.....	84
Figure III-5: Plan du 1 <sup>er</sup> étage du cas d'étude. ....	85
Figure III-6: Plan étage 02,03 et 04 du cas d'étude.....	85
Figure III-7 : Les matériaux de base utilisés dans le cas d'étude.....	86
Figure III-8 : l'instrument de mesure.....	88

Figure III- 9 : Images du restaurant et de la chambre du cas d'étude.....	89
Figure III-10 : Les points de mesures dans le restaurant du cas d'étude.....	90
Figure III-11 : Les graphes des températures mesurées. ....	91
Figure III-12 : Le point de mesure dans une chambre du cas d'étude.....	92
Figure III-13 : Le graphe de température mesurée dans la chambre.....	93
.....	
Figure IV-1: Icône de logiciel Archiwizard.....	97
Figure IV-2: Le model 3d du cas d'étude créer par Archicad.....	98
Figure IV-3: Le model du cas d'étude sur Archiwizard.....	98
Figure IV-4: L'étape de la configuration des matériaux.....	99
Figure IV-5: L'étape du lancement de la simulation.....	99
Figure IV-6: Le digramme de la température intérieure dans le cas initial.....	101
Figure IV-7: Déperditions thermique de l'enveloppe. ....	103
Figure IV-8: Diagramme des besoins de chauffage et de refroidissement.....	104
Figure IV-9: La température intérieure après l'inclusion d'un isolant thermique de L'intérieur.....	107
Figure IV-10 : Les déperditions de chaleur après l'inclusion d'un isolant.....	108
Figure IV-11: Diagramme des besoins de chauffage et de refroidissement après L'inclusion d'un isolant thermique.....	109
Figure IV-12: La température intérieure après l'inclusion d'un isolant Thermique depuis l'extérieur.....	111
Figure IV-13: Les déperditions de chaleur avec un isolant depuis l'extérieur.....	112
Figure IV-14: Diagramme des besoins de chauffage et de refroidissement Avec un isolant thermique depuis l'extérieur.....	114
Figure IV-15: Le diagramme de temperature interieur avec les vitrages doubles.....	116
Figure IV-16: le pourcentage des déperditions de chaleur avec les vitrages doubles.....	117
Figure IV-17: Diagramme des besoins de chauffage avec l'utilisation des doubles vitrages..	118
Figure IV-18: Diagramme de comparaison des besoins énergétiques entre les scenarios.....	119

## LISTE DES TABLEAUX

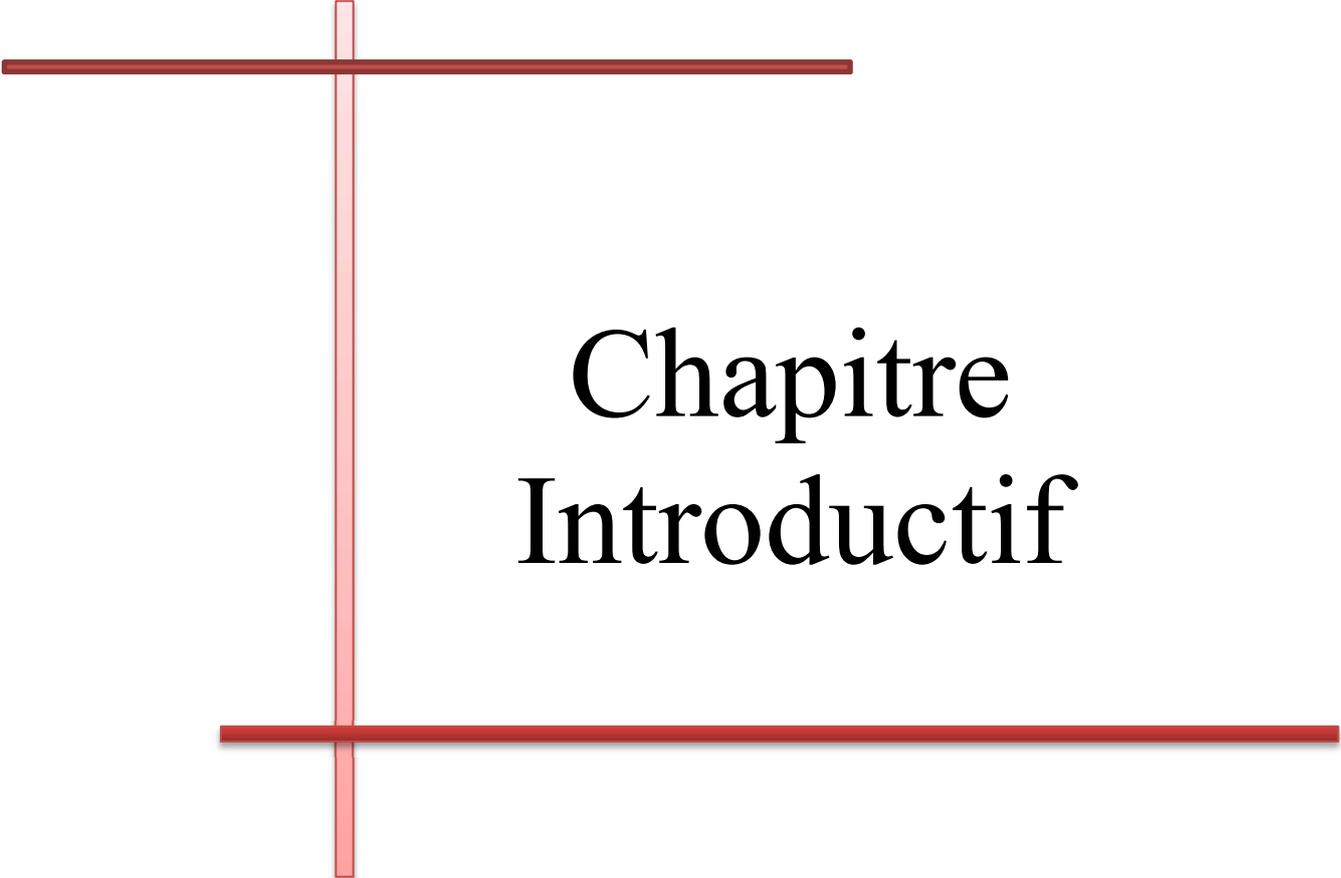
Tableau 1: Tableau de l'analyse conceptuelle.....	03
.....	
Tableau I.2: Tableau de quelques matériaux utilisés dans l'architecture bioclimatique.....	17
Tableau I.3 : Tableau Comparatif entre trois principales technologies de capteurs Utilisés pour la fabrication des panneaux photovoltaïques.....	30
.....	
Tableau II.1 : Les besoins énergétiques et émissions de CO2 pour 1 tonne de ciment Portland et 1 tonne de ciment géo-polymère.....	43
Tableau II.2 : La comparaison entre un produit de changement de phase Et matériau Sans le produit à changement de phase.....	58
.....	
Tableau III.1: Fiche technique du cas d'étude.....	83
Tableau III.2: Caractéristique des matériaux de construction.....	87
.....	
Tableau IV-1: Les matériaux utilisés pour la simulation dans le cas initial.....	100
Tableau IV-2: Les besoins énergétiques durant toute l'année.....	103
Tableau IV-3: Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion d'un isolant Thermique depuis l'intérieur.....	105
Tableau IV-4: Synthèse des besoins de chauffage et de refroidissement après L'inclusion de la laine de bois depuis l'intérieur.....	109
Tableau IV-5: Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion D'un isolant thermique depuis l'extérieur.....	110
Tableau IV-6: Synthèse des besoins de chauffage avec un isolant thermique depuis l'extérieur.....	113
Tableau IV-7: Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion De doubles vitrages.....	115
Tableau IV-8: Synthèse des besoins énergétiques avec l'utilisation des Doubles vitrages.....	118

## LISTE DES ABREVIATIONS

VMC	:	Ventilation Mécanique Contrôlée
WC	:	Water Close
AMF	:	Alliage a Mémoire de Forme
SMA	:	Shape Memory Alloy
CO2	:	GAZ Oxide de Carbone
TiO2	:	Dioxyde de Titane
COV	:	Composés Organiques Volatils
UV	:	Ultraviolet
HQE	:	Haute Qualité Environnementale
RDC	:	Réez De Chaussée

## LISTE DES UNITES DE MESURES

TWh	:	Tone Watt par Hours
KWh	:	Kilo Watt Hours
MN	:	Minute
DB	:	Décibels
MPA	:	Méga Pascal
PPM	:	Partie Par Million
V	:	Volte
Mm	:	Millimètre
Cm	:	Centimètre
Km	:	Kilomètre
M <sup>2</sup>	:	Mètre carré



# Chapitre Introductif

### Introduction

Les civilisations primaires sont bâties avec des matériaux naturels tels que le bois, la pierre, le cuir et l'argile. Ensuite l'être humain a connu, l'émergence des matières plastiques, puis des composites dans le bâtiment, l'automobile, l'aéronautique et même dans le secteur militaire. Cependant un objet naturel et celui d'une substance plastique dépend notamment des caractéristiques de la matière qui les constituent. Mais par la suite, les savants ont eu la nécessité d'utiliser des matériaux comportant eux-mêmes leurs propres activités qui a causé par la suite l'avènement des matériaux intelligents concernant aujourd'hui tous les secteurs d'activités. (Joël DE ROSNAY. 2010)

Depuis, ces matériaux deviennent plus en plus adaptatifs et évolutifs dans leur contexte. Cette révolution marque le grand retour notamment de la chimie qui permette également la mise en œuvre des instructions pour la modélisation de tel type de matériaux. Mais aussi, la copie des organismes vivants (mimétisme), des micromachines moléculaires ou cellulaire qui permet d'explorer des champs d'applications modernes dans les différents domaines professionnelles tel que le secteur constructif.

Du fait, l'usage de ce type de matières et leurs manœuvres sous différentes physionomies reposent majoritairement sur leurs caractéristiques spécifiques à l'échelle nanométrique et moléculaire. Du coup le développement et la découverte de propriétés spéciales et nouvelles que les matériaux peuvent obtenir également grâce à l'intégration des polymères de haute technologie reste décisive pour la modélisation de tels matériaux. Afin de rendre les propriétés physiques, chimiques, biologiques et techniques de ces derniers sensibles et adaptatifs aux changements de leur environnement sous différentes contraintes extérieurs que ce soit physique ou chimique. Autrement dit, les matériaux dits intelligents ont la capacité de réagir face à des stimuli externes pour les neutraliser a la faveur de l'homme et son contexte. [1]

Du coup, la maîtrise des matériaux aux propriétés nouvelles et la combinaison intelligente entre eux peuvent offrir des avantages compétitifs clés pour le développement de l'industrie et le domaine constructif. Cependant, il sera décisif de projeter de tels matériaux dans les projets architecturaux notamment dans la procédure de la conception bioclimatique pour améliorer encore mieux les performances énergétiques dans les bâtiments et préserver les ressources naturelle tous en garantissons un confort idéal des occupants.

### Problématique

Depuis, la révolution industrielle, l'homme a connu plusieurs évolutions dans le domaine de la construction, grâce à de nouveaux matériaux qui sont apparus pendant cette époque, et qui ont vu naître de nombreuses méthodes et techniques qui permettent à leur tour d'élargir le champ de créativité chez les ingénieurs jusqu'à nos jours.

En revanche, la modélisation et la fabrication de ces matériaux dans des grandes usines présente une immense nuisance pour l'environnement et la nature et qui ne cesse pas de contribuer à la dégradation des écosystèmes, ainsi qu'à la disparition de différentes espèces dans l'existant vu à l'énorme quantité, non seulement de gaz toxiques dégagés pendant le processus de fabrication, mais aussi de surfaces tertiaires endommagées pour l'extraction de la matière première (ciment, poudres de fer, gravier, sable...etc.)

Pour cette cause, les expérimentés dans les différents domaines ont créé un courant appelé, le développement durable, qui est par définition, faire répondre aux besoins du présent mais sans compromettre les générations futures de répondre aux leurs, par exemple, l'architecture durable autrement dit, architecture environnementale qui part sur le principe de concevoir des ouvrages par rapport à leurs propres environnements, en évitant tous impacts négatifs qui peuvent être infligés par ce dernier au sein de son entourage, tout en admettant les nouveaux matériaux dit intelligents pour une architecture bioclimatique de haute performance.

L'architecture dans le contexte est nommée environnement et technologique se repose majoritairement sur l'exploitation des apports naturels gratuits qui possèdent le site d'implantation du projet d'une manière ingénieuse, pour un but écologique qui sert à diminuer la consommation des énergies surtout de sources non renouvelables afin d'éviter toutes nuisances pour l'environnement. Du coup, pour en profiter de ces gains naturels au maximum faudra-t-il plusieurs réflexions en terme du choix des matériaux à utiliser dans le projet ainsi que les techniques d'intervention pendant la procédure de la réalisation du chantier.

Les questions structurantes qui doivent être posées sont les suivantes :

- Quelles sont les matériaux intelligents a intégrer dans le processus de conception bioclimatique pour les œuvres architecturales, afin d'assurer une meilleure efficacité énergétique ?
- Quel est l'impact de la modélisation et la fabrication des matériaux intelligents sur le contexte environnemental ?
- Comment réagissent-ils dans leurs propres entourages, et quels avantages apportent-ils pour le domaine constructif ?

### Les Hypothèses

Afin de répondre à notre problématique, les hypothèses proposées sont comme suit :

- Il semble que, les matériaux intelligents approprié à la construction architecturale ont apparu pour but d'améliorer l'efficacité énergétique à l'intérieur du bâtiment et d'assurer de plus en plus le confort des occupants.
- Vu en énorme danger qui provoque l'environnement actuellement, il sera nécessaire donc d'innover de nouveaux matériaux de construction qui seront mieux intégrer et beaucoup plus adaptable avec leurs contexte d'usage.

### Contexte et objectifs

Ces dernier temps, le monde a connu une grande croissance démographique, ce qui signifié un excès très remarquable dans le taux de construction des bâtiments et des logements ainsi que des matériaux utilisés pour satisfaire le besoin de la population. Du coup l'impact néfaste de ce fait sur l'environnement a été énormément multiplier depuis et présente ainsi une grande menacer pour l'équilibre naturel et fonce dans la dégradation de la biodiversité. Afin de préserver l'environnement, améliorer la gestion énergétique et évoluer le confort interne dans les bâtiments, les chercheurs ont pu développer des matériaux de nouvelle génération qui s'inscrivent dans la démarche de développement durable.

Cette recherche s'inscrit dans une optique visant à :

- ✓ guider l'architecte et l'ingénieur dans leurs choix constructifs vers une intégration des matériaux révolutionnaires plus sains, plus efficaces et mieux adaptables.
- ✓ Assurer une économie et une efficacité énergétique dans les bâtiments grâce à l'utilisation des matériaux de nouvelle génération qui respectent l'homme et son environnement.

### Analyse conceptuelle

L'analyse conceptuelle de la recherche a pour but de nous permettre de concrétiser les notions intègres dans les hypothèses et les différents concepts pour les transformer en données mesurables.

- Il paraît que les particularités inters insectes des matériaux intelligents ainsi leurs positionnements ont un impact dominant sur l'édifice au niveau d'efficacité énergétique pendant sa durée de vie.
- La situation du bâtiment par rapport à la trajectoire solaire, la direction des vents, le climat, les nuisances sonores et les différentes vues excitantes ont une grande influence sur le choix de type de matériaux a intégré dans la procédure de la réalisation du projet pour une adaptation parfaite.

Tableau 1: Tableau de l'analyse conceptuelle.

	LES CONCEPTES	
	MATERIAUX INTELLIGENTS	CONCEPTION BIOCLIMATIQUE
	Les Variables Indépendantes	
Dimension	Type De Matériaux Intelligents	Les Données Du Site
Indicateurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractéristiques inters insectes des matériaux.</li> <li>- Réaction des matériaux.</li> <li>- Emplacement des matériaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orientation (est/ouest/nord/sud).</li> <li>- Climat.</li> <li>- Vents.</li> <li>- Topographie.</li> </ul>
	Les Variables Dépendantes	
Dimensions	Efficacité Energétique	Confort Intérieur
Indicateurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bilan de la consommation énergétique.</li> <li>- Bilan économique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confort thermique.</li> <li>- Confort énergétique.</li> </ul>

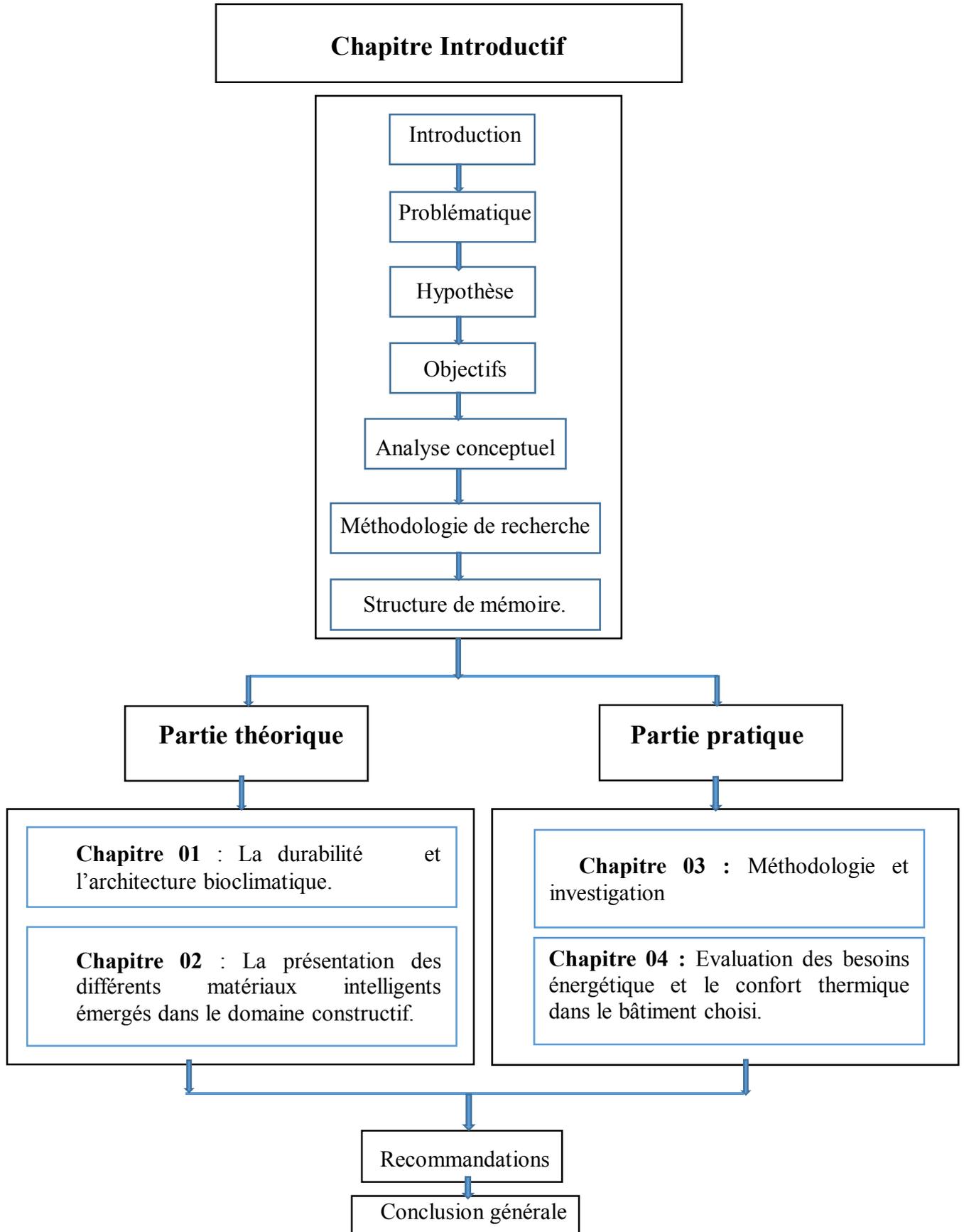
### Méthodologie de recherche

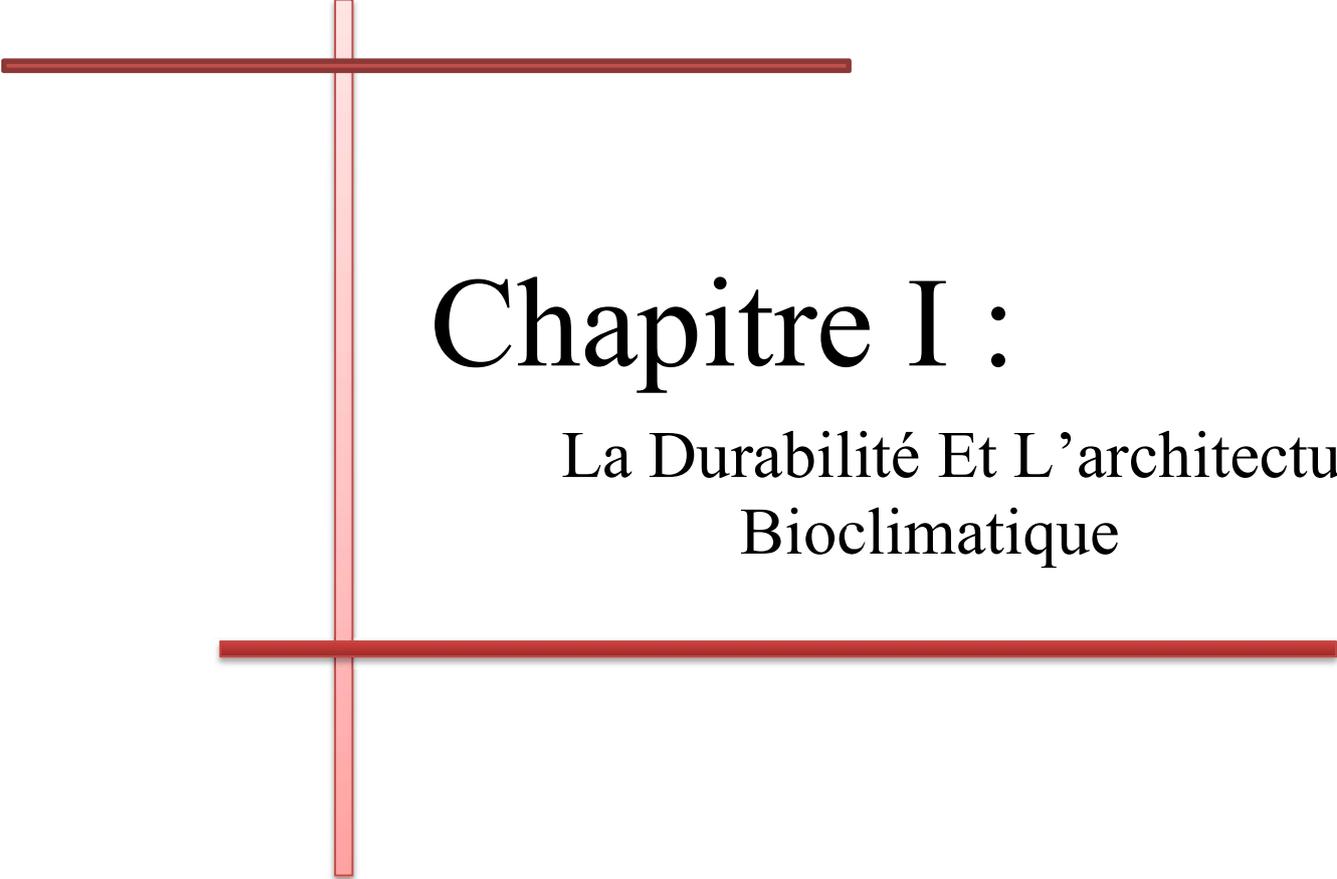
Dans ce travail j'ai essayé de faire une recherche bibliographique par une consultation de plusieurs sources, pour le but d'attraper les objectifs et de répondre à la problématique posée ainsi que de confirmer ou infirmer les hypothèses proposés la dessus. Et pour mieux interpréter les types, l'utilisation et les contributions de ces matériaux intelligents dans les ouvrages architecturale. Ce mémoire sera organisé alentour de deux parties :

**La partie théorique:** dans cette partie en va élaborer une recherche bibliographique et documentaire sur deux chapitres ayant pour objectifs d'arriver à élaborer une conception architecturales en harmonie avec l'environnement et au service du développement durable, grâce aux matériaux intelligents.

**La partie pratique :** Consiste à présenter mon cas d'étude, la méthodologie de travail choisi est une démarche numérique composée de deux chapitres, le premier sert à présenter le cas d'étude, tandis que le deuxième va traiter l'impact d'un matériau déjà mis en place sur l'efficacité énergétique et le confort thermique dans le bâtiment, avec ceux des matériaux écologiques utilisés souvent dans la conception bioclimatique dans la même bâtisse, puis je réaliserai une étude comparatif entre l'ensemble de ces matériaux. Ensuite, vers la fin du mémoire, on terminera avec des recommandations et une conclusion générale.

Structuration du mémoire





# Chapitre I :

La Durabilité Et L'architecture  
Bioclimatique

## Introduction

La construction et la vie ont radicalement changé dans ces derniers temps. En fait, la population et la vie urbaine ne cesse pas d'augmenter, qui engendre à la fois une consommation excessive dans l'énergie et augmente le taux de la pollution pour être au final de majeurs problèmes sur l'environnement. De sorte que, l'architecture bioclimatique l'une des courants architecturaux importants de titre durable caractériser par l'existence de variés solutions pour une meilleure adaptation entre la construction et son contexte environnementale. À cet égard, la conception et la construction des bâtiments doit être durable et intelligente, en tenant compte l'existence des multiples technologies de pointe. (M. Mahmoudian, P. Sharifikheirabadi, 2020)

Un bâtiment durable est implanté par rapport à son entourage pour but d'exploiter davantage les opportunités naturel qui offre ce dernier, ainsi que d'assurer le confort humain pendant toute la dure de vie de ce bâtiment. L'architecture bioclimatique, en plus de la beauté et de la gestion des espaces interne, essaie d'utiliser les facteurs naturels et des ressources telles que les énergies renouvelables (l'énergie solaire, l'énergie géothermique et le vent ...etc.) afin d'agir dans le cadre de préservation de l'environnement, aussi que pour le bien-être des occupants.

L'architecture verte surgit de l'architecture et du développement durables est le résultat de l'exigence humaine désormais pour se protéger des conséquences de l'industrie, tels que la pollution atmosphérique, la pollution environnementale et la santé physique et mentale de la personne, sans hésiter de tenter de purifier leur entourages dans les temps avenir. A cette cause, que le sujet de « l'avenir de l'humanité en terme de ressources » est l'une des épreuves abordées dans le temps actuelle, et sa nécessité devienne de plus en plus primordiale en tant qu'une responsabilité à l'échelle mondiale.

## I. Le Développement Durable

### I.1. Définition Du Développement Durable

Quand on parle de développement durable on parle d'une croissance économique qui prend en considération le capital des générations future il s'agit d'un regard sur un intervalle de

temps étendue et d'intégration des enjeux socio-écologiques. Selon la définition donnée dans le rapport de la Commission mondiale des Nations Unies sur l'environnement et le développement (le rapport Brundtland) en 1987 « Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs».

En 1991, Ignacy Sachs propose une définition proche de ce qu'il appelle l'écodéveloppement « le développement durable c'est un développement endogène et dépendant de ses propres forces, soumis à la logique des besoins de la population entière, conscient de sa dimension écologique et recherchant une harmonie entre l'homme et la nature ».

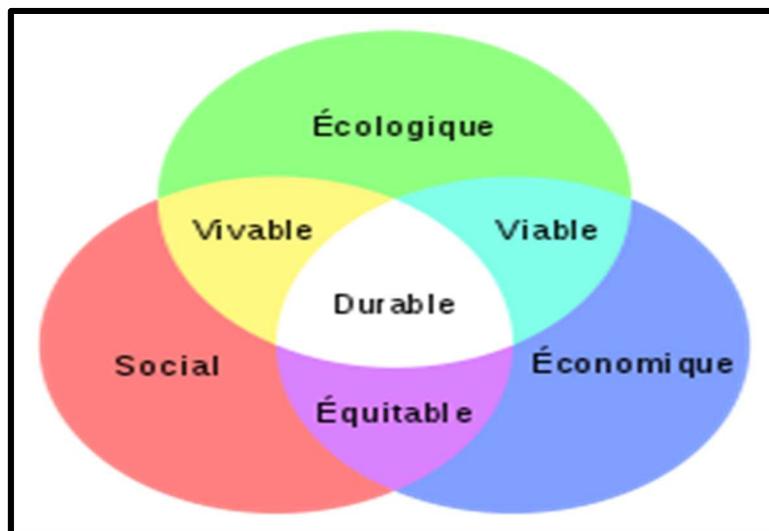


Figure I-1: Schéma du développement durable, à la confluence de trois préoccupations.

(Source: fr.wikipedia.org)

## I.2. La Conception Durable En Architecture

Les explications des concepts de la durabilité dans l'architecture sont dirigées vers l'idée d'intégrer un bâtiment dans son environnement pour créer un bâtiment durable, qui profite mieux de son site naturel et agit comme partie dans l'écosystème globale de la ville, ainsi il minimise ces effets néfastes sur les milieux naturels de son implantation, durant le cycle de sa vie en comparaison aux bâtiments classiques. De plus, en architecture la durabilité peut être vue comme étant une représentation des constructions futures, non seulement avec la minimisation de l'impact énergétique du bâtiment mais aussi avec la préservation de la planète.

et ses ressources énergétiques, en reposons sur un modèle où ces derniers et leur matériaux disponibles sont déployés plus efficacement avant qu'ils soient gaspillés ou ignorés.

En d'autres termes, les ouvrages durables sont conçus en deux volets dirigés sur la capacité du bâtiment à intégrer et capter les éléments de l'environnement et de l'atmosphère dans son site d'implantation, afin de bénéficier de ces qualités pour assurer le confort des usagers. (Keikha, 2018)

En outre, étant donné que la durabilité et la persistance du bâtiment en soi sont considérées en tant que phénomène, une construction de haute qualité et l'utilisation des matériaux durables et intelligents, doivent être également considérées. Il est possible d'atteindre de telles conditions en utilisant une conception systématique, une gestion efficace et application des dernières technologies concernant les matériaux de construction. (Kiomarsi et Ahmadipour, 2001)

### **I.2.1. Principes De La Conception Durable En Architecture**

La conception durable est le fruit de nombreuses réflexions reposées majoritairement sur les données climatiques et plusieurs d'autres, contenu dans la zone de projection du projet. Et la procédure de cette étape consiste également le respect de certains principes. Ces principes sont comme suit (Husseini, 2011) :

**I.2.1.1. Connaître l'emplacement :** Réaliser une analyse site qui doit posséder tous les enjeux qui ont un impact directe ou indirecte sur le projet, ainsi de bien comprendre la manière dont ils fonctionnent.

**I.2.1.2. Assurer une relation avec la nature:** Que ce soit en ville ou en milieu naturel, il existe souvent une conception en harmonie avec la nature pour revenir à la vie environnementale.

**I.2.1.3. Maitriser les impacts sur l'environnementaux:** La conception durable est une tentative d'identifier les effets environnementaux sur l'évaluation du site, aussi que

d'essayer de réduire les impacts négatifs sur l'environnement par une bonne gestion en terme de consommation énergétique, et d'utilisation des matériaux sains.

I.2.1.4. **Comprendre les gens:** La conception durable nécessite de consentir attention à large éventail de cultures, de générations et les habitudes des personnes qui l'utilisent ou l'habitent, qui doit répondre aux exigences de la société.

I.2.1.5. **Le confort et la santé à l'intérieur:** Le critère le plus crucial dans la construction durable est la prise de soin de la santé des occupants. Au-delà des dangers sanitaires, un édifice consiste également à satisfaire en permanence les besoins sensoriels de l'être humain : confort visuel, confort olfactif, confort thermique.

I.2.1.6. **Choisir les bons matériaux:** Une construction est dite durable lorsque celle-ci prend soin des dépenses énergétiques du bâtiment durant tout son cycle de vie. De ce fait il est important aussi de bien prendre soin de choix des matériaux afin d'attendre un bilan énergétique et économique très satisfaisant.

Prenons l'exemple de la laine de bois :



Figure I-2: Laine ou fibre de bois, un isolant très performant.

(conseils-thermiques.org)

**a)- Production:** La laine de bois provient (généralement) des déchets de l'industrie du bois (écorce). Il faut compter l'énergie nécessaire pour récupérer cette écorce.

**b)-Transformation** : Ce matériau passe par une succession de mécanisme pour le convertir en "laine". Ainsi des produits chimiques sont également ajoutés à ce dernier pour des raisons techniques (la tenue au feu, la tenue à l'humidité) qui implique une forte consommation d'énergie nocif.

**c)- Mise en œuvre** : isolation d'un immeuble par l'extérieur, nécessite d'avoir une grue, de nacelles, de chariots élévateurs...etc. Autant de machines qui consomment beaucoup d'énergie permettre de croire le bilan global d'énergie consommé.

**d)- Utilisation** : l'isolation c'est fait pour diminuer la consommation de chauffage. Durant l'exploitation du bâtiment la laine de bois ne consomme pas à proprement parler d'énergie. Elle évite d'en perdre plus.

**e)- Recyclage** : le jour ou le bâtisse sera démantelés, les panneaux d'isolant seront probablement recyclés et transformés en un nouveau produit. Un processus qui demandera de l'énergie.

### I.3. L'architecture Bioclimatique

#### I.3.1. Définition

L'architecture bioclimatique est l'art et le savoir-faire et de bâtir en raccordant respect à l'environnement et le confort des habitants. Elle a pour but d'avoir des conditions de vie agréables de la façon la plus naturelle possible, en employant à titre d'exemple des sources d'énergies renouvelables disponibles sur le site du bâtiment. [2]

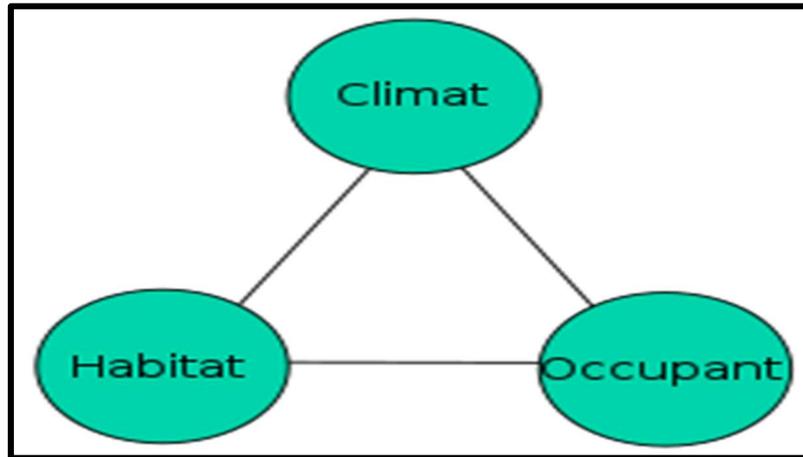


Figure I-3: Schéma de l'architecture bioclimatique.

(Source : pergonova.fr)

### I.3.2 Généralité Sur L'architecture Bioclimatique

La conception bioclimatique a pour but primordial d'atteindre les meilleures conditions vivables en termes de chaleur, de températures, de taux d'humidité, de salubrité, et de luminosité de manière la plus naturelle possible, en reposant avant tout sur des techniques architecturales, les énergies propre disponibles sur le site d'implantation (énergie solaire, géothermie, éolienne, et plus rarement l'eau), en minimisant l'utilisation des moyens mécanique, et des énergies à base de combustible. (Z Amina. 2017)

C'est ainsi que, les architectes bioclimatiques considèrent l'environnement comme étant une source potentielle de confort de l'homme plutôt que défavorable à ceci, et cherchent à la fois les moyens à le prémunir à long terme. Par conséquent ils exécutent une étude approfondie sur le terrain, son contexte environnemental, son climat, les enjeux naturels et font en sorte d'extraire le mieux du milieu de bâtiment tout en prend compte des contraintes éventuelles. Il s'agit donc de capter, conserver et de diffuser l'énergie nécessaire, d'une façon naturelle et qui respecte les exigences écologiques environnementales. Afin d'attendre une réduction maximale en termes d'usage des énergies polluantes et non renouvelables telles que les énergies fossiles (le gaz et l'électricité). [2]

La conception bioclimatique, parfois nommée "bio climatisme", est adéquate à tous les édifices dont l'ambiance intérieure doit être maîtrisée, régulée et adaptée à l'emploi.

L'architecture bioclimatique regroupe deux grandes bases en même temps qui sont :

- "La construction solaire" orientée vers le captage de l'énergie solaire.
- "La construction passive" où le respect de certains principes et performances énergétiques est exigé.

### **I.3.3. Les Principes De L'architecture Bioclimatique**

Afin d'élaborer une architecture qui garantisse le préférable confort de l'être humain, avec une totalité réduite en termes d'énergie consommé ainsi dans un cadre respectueux a l'environnement, une démarche bioclimatique se conduit en prenant en considération des principes d'une construction passive.

#### **I.3.3.1. Conservation D'énergie**

« Il ne sert de rien à l'homme de gagner la Lune s'il vient à perdre la Terre » (François Mauriac)

Chaque bâtiment doit être conçu et construit de manière à apaiser les besoins énergétiques proviennent des combustibles fossiles qui ont un impact négatif inélégible désormais sur la biodiversité dans le milieu naturel. Un tel principe dans les bâtiments a été oublié et niée dans le passé vue aux précipitations constructives appliquées comme réaction politique pour la croissance démographie à cette époque, qui ont carrément oubliés l'aspect environnementale. Maintenant, avec l'apparition du concept bioclimatique basé sur l'utilisation des matériaux saints, matériaux biodégradables, matériaux récemment innover avec de multiples combinaisons entre eux ont permets d'avoir comme résultats, des matériaux ultra performants qui peuvent sans doute réaliser des économies au niveau de consommation énergétique dans les bâtiments avec plus d'efficacité qui serviront à réduire le bilan énergétiques d'un bâtiment. (K. Hamideh, 2018)



Figure I-4: Maisons bioclimatiques et écologiques de l'écoquartier néerlandais Eva Lanxmeer.

(Source : wikiwand.com)

### I.3.3.2. Travailler Avec Le Climat

Les bâtiments doivent être engendrés de manière à pouvoir utiliser le climat et les ressources énergétiques locales ainsi que tous les apports naturels gratuits disposants dans le site comme étant des opportunités favorisant le confort intérieurs des occupants avec moins d'énergie consommé, c'est à dire que les œuvres architecturales doivent être intégrées par rapport à leurs propres sites afin de profiter le plus possible de chaque gain natif (ensoleillement, éclairage naturel, chauffage naturel, ventilation naturel, aération naturel...etc.) pour obtenir une relation harmonieuse entre la bâtisse et son environnement naturel d'une manière durable.(M. Mahmoudian, P. Sharifikheirabadi.2019)



Figure I-5: Maison partiellement insérée dans une serre.

(Source : wikiwand.com)

### I.3.3.3. Gestion de l'air

Dans un bâtiment l'air intérieur doit être systématiquement renouvelé pour but d'offrir aux occupants de l'espace une meilleure qualité de l'air ainsi une bonne répartition de la température. En bâtiments classiques, la gestion de l'air est assurée notamment par un système de ventilation mécanique (VMC) qui fonctionne à base de l'énergie électrique, par contre dans les ouvrages conçus d'une méthode bioclimatique, une gestion plus naturelle donc a été privilégiée pour s'en charger de la ventilation interne, qui consiste de placer un système d'aération par déplacement d'air traversant ou par appel d'air. Pour ce fait, il suffit juste de créer un nombre important d'entrées d'air qui seraient opposés dans le bâtiment, mais d'abord il faudra penser à rassembler les pièces produisant de la pollution aérienne et puis à ne pas placer les entrées d'air à côté des sources de pollutions extérieures. A la fin, le renouvellement de l'air sera donc efficace et totalement économique et naturel, sans avoir besoin d'utiliser un système de VMC électrique. (A. Liébard, A. Herde. 2006)

### I.3.3.4. Gestion de l'eau

Toutes les constructions bioclimatiques sont dans l'obligation d'être équipées d'un système qui récupère les eaux pluviales afin de profiter d'un circuit d'eau naturel gratuit pour l'alimentation des différents appareils électroménagers ainsi les tuyaux d'arrosage. Ces

systèmes sont généralement conçus pour être enterrés dans le sol notamment pour éviter la gelée durant la période d'hiver. Cependant, il reste nécessaire d'avoir une alimentation en eau potable d'après le réseau public pour l'utilisation courante. (A. Liébard, A. Herde. 2006)

### I.3.3.5. Réduire L'utilisation De Ressources

Ce type d'architecture semble avoir peu de rapport avec la pollution causée par le changement climatique mondial et la destruction de la couche d'ozone. Puisque chaque bâtiment doit être conçu d'une manière à mieux s'adapter aux changements externes, ainsi de minimiser l'utilisation de nouvelles ressources récemment exploitées, en même temps de prévoir ces bâtiments comme étant des sources pour construire d'autres structures à la fin de leurs durée de vie. Ce cheminement qui est basé sur le recyclage des déchets de construction, nous permet de évoluer dans le domaine constructif dans un cadre respectueux à l'environnement et sans épuiser les ressources disponibles dans le monde actuellement. Cependant il sera nécessaire de réparer et d'améliorer les structures existantes pour réduire les impacts environnementaux dans le futur proche. (M. Mahmoudian, P. Sharifikheirabadi.2019)

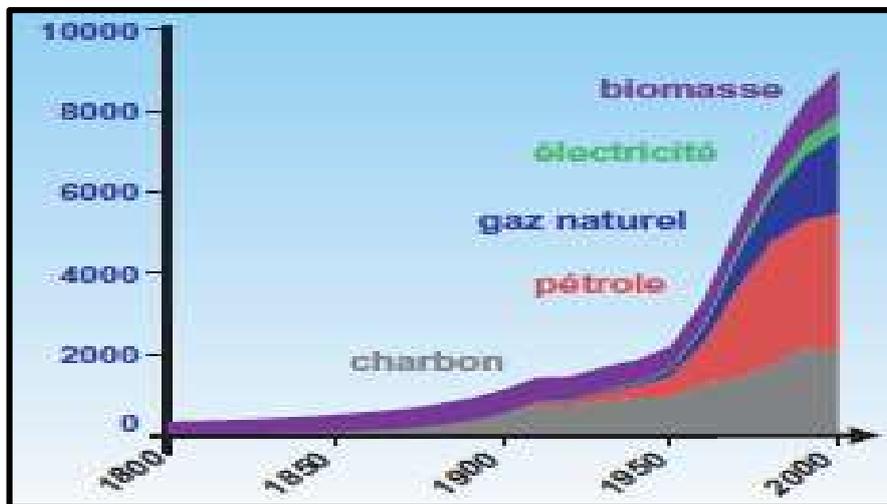


Figure I-6: La consommation d'énergie depuis 19eme siècle.

(Source : intussen.info)

### **I.3.3.6. Respect Des Utilisateurs**

L'architecture bioclimatique respecte les volontés et les exigences des personnes qui utilisent le bâtiment. En plus elle essaye de leur offrir une vie plus purifiante et avec plus de raccordement avec l'espace naturel, malgré la densification des espaces urbains. Pour objectif de fournir un confort de toutes sortes aux occupants dans des situations les plus défavorables. En fait, le processus bioclimatique dans l'architecture inclut également le respect de toutes les ressources naturelles dans les démarches constructives qui n'exclut absolument pas à leurs tours la dimension humaine dans cette procédure, puisque les bâtiments sont construits par des humains et pour but de satisfaire leurs besoins et bien assurer une meilleure qualité de vie dans leurs propres demeures. (M. Mahmoudian, P. Sharifikheirabadi. 2019)

### **I.3.3.7. Respect Du Site**

Chaque bâtiment doit toucher le sol de manière calme et légère. "Le bâtiment doit toucher le sol de manière silencieuse et légère", a déclaré l'architecte australien (Glenn Murcutt). Les manières et les techniques de l'interaction entre le bâtiment et son site sont des notions essentielles dans le processus d'élaboration d'une conception architecturale bioclimatique, ce qui signifie que le bâtiment doit pas apporter d'impacts négatives sur son milieu d'implantation. Du coup le bâtiment qui consomme de l'énergie avec gourmandise, génère autant de pollution dégagé dans l'espace naturel, ce qui désigne donc qu'un tel ouvre jamais il ne touchera le sol en une manière douce et légère. (Torabi et Roshan, 2015)

### **I.3.3.8. Bon Choix Des Matériaux**

Les matériaux généralement privilégiés dans l'architecture bioclimatique sont néanmoins des matériaux naturels qui ont subi le moins de transformations durant tout leur processus de production qui proviennent également de sources naturelles renouvelables sains et locales avec une faible empreinte écologique . (Z. Amina, 2017)



Figure I-7: Maison bioclimatique, avec matériaux composites.

(Source : wikiwand.com)

#### I.3.3.8.1. Des matériaux à forte inertie pour une architecture bioclimatique

Une conception bioclimatique permet de réaliser des économies d'énergie en chauffage, ventilation et même en termes d'éclairage d'un espace architecturale. Du coup, cette conception doit respecter certaines règles à titre de l'orientation du bâtiment en plein sud afin de capter les rayonnements du soleil grâce à des surfaces importantes en verre. Cependant, les rayons solaires sont essentiels pour avoir un éclairage naturel des pièces et permettent de les chauffer gratuitement durant la journée. Pour cette cause, il faut également un bon choix de matériaux qui ont la capacité de stocker la chaleur provenant de ces rayons et de la restituer après lorsque on aura besoins. Cependant, il est obligatoire de préférer des matériaux lourds à forte inertie thermique qui est par définition « le potentiel du matériau ou du bâtiment à se maintenir à une certaine température malgré les multiples changements dans le contexte extérieur (température, humidité de l'air...) » (G. Marcheteau. 2017)

Tableau I.1: Tableau de quelques matériaux utilisés dans l'architecture bioclimatique.

Matériaux	Description	Caractéristiques
<b>Brique mono mur</b>	- Brique en terre cuite d'une largeur faisant entre 30 et 37 cm, soit presque le double d'une brique classique.	- Isole naturellement, sans ajout d'isolant surtout dans les régions chaudes. - Laisse respirer les murs.

		-Permet d'éviter les problèmes d'humidité ou de moisissures.
<b>Liège</b>	- Matériau issu d'une substance naturelle que l'on retrouve sur le chêne-liège.	- Isole aussi bien au niveau thermique que phonique. -Peut être utilisé comme isolation extérieure
<b>Panneaux en fibre de bois</b>	-Panneaux fabriqués à partir de déchets de scieries qui sont ensuite agglomérés.	- Sont étanches à l'air et perméables à la vapeur d'eau. - Peuvent être utilisés en complément du liège en isolation extérieure.
<b>Terre cuite non émaillée</b>	- Revêtement de sol naturel.	- Stocke et diffuse très bien la chaleur.
<b>La pierre</b>	- Un matériau de construction écologique constitué de la roche d'où elle est extraite.	- Stockage et restitution de la chaleur. - Empêche un échauffement indésirable lors de fortes chaleurs. - Durable et très résistant.
<b>brique silico-calcaire</b>	-Brique à base de chaux et de sable siliceux fin, obtenue par cuisson en autoclave ; caractérisée par son aspect clair et soigné et son pouvoir réfractaire.	- L'isolation sonore. - Résistance au feu élevée. - Longue durée de vie - Esthétique agréable.
<b>La paille</b>	- La paille est un coproduit agricole de la production de céréales. Elle est généralement utilisée pour la construction sous la forme de bottes parallélépipédiques.	- Saint et économique. - Bon isolant thermique. - Excellent isolant phonique. - Une résistance au feu. - Une construction simple et rapide
<b>Le béton cellulaire</b>	- Le béton cellulaire est un matériau de construction destiné au gros œuvre. Il est composé de matières naturelles : eau, sable, ciment, chaux et d'un agent	-Un matériau très léger. -Un excellent isolant thermique. -Une utilisation facile.

	d'expansion (la poudre d'aluminium) pour lui donner ses propriétés aérées.	
<b>Le bois</b>	-Le bois est un matériau naturel d'origine végétale. Il est constitué par un tissu végétal formant la plus grande partie du tronc des plantes ligneuses.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solide, résistant et durable.</li> <li>- Souple et modulable.</li> <li>- Résistance au froid et à la chaleur</li> <li>- Isolation thermique et phonique.</li> </ul>
<b>La brique pleine</b>	-Elément de construction traditionnel, la brique pleine possède des faces planes, sans relief. Elle permet de construire des murs porteurs ou des cloisons, et peut être utilisée comme matériau de parement ou être laissée apparente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilité dimensionnelle et la durabilité.</li> <li>- Résistance au feu.</li> <li>- Matériau naturel et recyclable.</li> <li>- Pas d'émission nocive à la mise en œuvre et dans le temps.</li> <li>- Restitue la nuit la chaleur accumulée le jour.</li> <li>- Poreuse (laisse respirer le mur).</li> </ul>

Source : (Géraldine Marcheteau. 2017)

### I.3.3.9. Mise En Œuvre Du Chantier

L'usage d'engins et de moyens mécaniques qui consomment autant d'énergie et qui ont un impact sur l'environnement est à éviter dans une démarche de construction bioclimatique. Des techniques et moyens de constructions simples et naturels seront donc préférés aux celles classiques. Cependant, les déchets et le bruit produits durant le chantier devront être limités au possible afin de ne pas perturber l'environnement de celui-ci. (M. Mahmoudian, P. Sharifikheirabadi. 2019)

### I.3.4. Méthode De L'architecture Bioclimatique

L'architecture bioclimatique est basée sur deux stratégies, la première c'est la stratégie du chaud dans la période hivernale pour tempérer la température intérieure, tandis que la deuxième c'est la stratégie du froid dans les périodes des surchauffe afin d'atténuer la température interne élevée à une chaleur ambiante.

### I.3.4.1. La stratégie dans la période hivernale

L'architecture bioclimatique se maintient dans sa méthode dans la période hivernale souvent sur l'inclusion de trois notions préalables, qui sont comme suit :

- A. Capter l'énergie solaire et celle apportée par les activités intérieures ainsi de se protéger de la chaleur.
- B. La diffuser et la transmission de la chaleur à l'intérieur.
- C. La conservation ou l'évacuation en cas de la surchauffe en fonction du confort recherché.

Ces notions sont essentielles dans le processus de conception bioclimatique en particulier dans les régions chaudes (comme le type méditerranéen), où la collecte et le stockage hivernaux semblent être en conflit avec la protection et l'évacuation estivales. La résolution de cette contradiction évidente est la base d'une conception bioclimatique facile à comprendre.

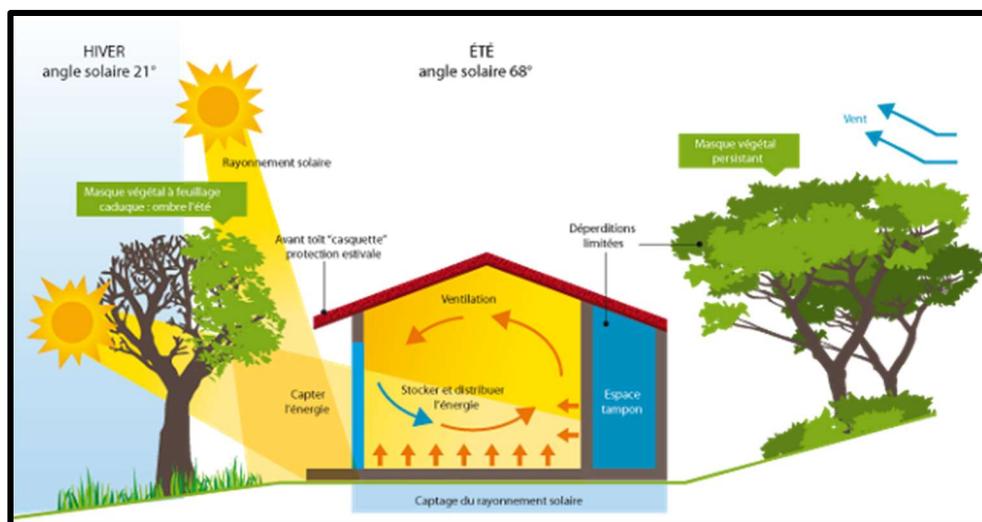


Figure I-8: Schéma montre les notions de base d'une conception bioclimatique.

(Source : e-rt2012.fr)

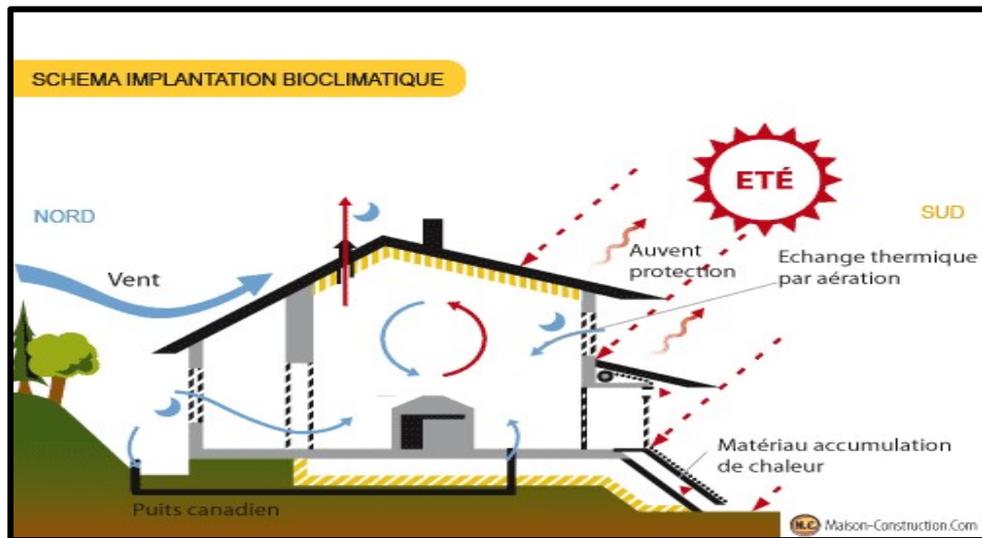


Figure I-9: Schéma globale d'implantation bioclimatique.

(Source : e-rt2012.fr)

### A. Capter et Protéger de la chaleur

Pendant toute la journée, seule l'orientation sud d'un bâtiment reçoit correctement la lumière et la chaleur solaire et pour capter cette énergie, il est nécessaire donc d'installer des fenêtres vitrées importantes au sud car le verre laisse pénétrer des rayons solaire, mais également absorbe les rayons infrarouges réémis par les murs intérieurs qui reçoivent ces rayons, ce qui est appelé l'effet de serre. (K.M. Amine. 2019)



Figure I-10: Les grandes surfaces utilisées en zone tempérée.

(Source : wikiwand.com)

En été, le positionnement du soleil est très haut sur l'horizon vers midi, ce qui signifie que les parois d'une construction rayonnées par ce dernier sont principalement les murs Est et

Ouest, ainsi qu'au toit. En revanche l'angle d'impact de ses rayons sur les vitrages orientés vers le sud est excessivement élevé. Il est donc nécessaire de prévoir une protection de ces vitrages par des brises solaires, étudié de manière à empêcher le rayonnement solaire direct en été tout en y laissant le maximum d'ensoleillement disponible en hiver.

Sur les ouvertures des façades Est et Ouest, les protections solaires horizontales sont d'un rendement minime, car les rayons solaires ont un impact moins élevé dans ces orientations, du coup les protections solaires opaques (volets) et la végétation caduque sont assez efficaces sur ces lieux. En outre la végétation persistante est également efficace pour protéger des vents froids, sous réserve de ne pas dissimuler le soleil de l'hiver.



Figure I-11: La végétation pour limitation des apports solaires en été.

(Source : wikiwand.com)

**NB :** Une construction bioclimatique doit se caractériser par :

1. Des ouvertures de grande dimension au sud, parfaitement protégées du soleil estival.
2. Très peu d'ouvertures au nord.
3. Peu d'ouvertures à l'est sauf pour les pièces d'usage matinal, comme les cuisines et le cas des chambres.
4. Peu d'ouvertures à l'ouest, surtout pour les chambres, à protéger du soleil couchant en été.

Ainsi que, dans une démarche bioclimatique, les exigences commandées par le bâtiment doivent naturellement être adaptées en fonction du milieu (climat, environnement, voisinage...etc.) et du rythme de vie de ces occupants ainsi leurs besoins quotidiens.

## B. Transformer Et Diffuser La Chaleur

Une fois la lumière solaire captée, un bâtiment bioclimatique doit savoir la transformer en chaleur et la diffuser dans les espaces dont on a besoin. Cette transformation se fait au travers d'un respect de certain nombre de principes, afin de ne pas gâcher le confort intérieur des occupants, qui s'agit de :

- Maintenir un équilibre thermique ajusté.
- Ne pas dégrader la qualité lumineuse à l'intérieur.
- Permettre la diffusion thermique par le système de ventilation et la conductivité thermique des parois.

Dans un bâtiment, la chaleur s'accumule vers le haut des espaces par convection thermique avec l'air intérieur. Du coup, la transformation de la lumière en chaleur doit se faire au niveau du sol, tandis que l'absorption de cette énergie lumineuse par une paroi la rend sombre et limite sa capacité à diffuser celle-ci. De plus, Cette absorption ne doit absolument pas empêcher la rediffusion de la lumière vers les zones les moins éclairées et surtout de ne pas générer d'éblouissement ou de contrastes dans l'espace intérieur. (M. Mahmoudian, P. Sharifikheirabadi. 2019)

Cependant, Il est favorable d'employer des revêtements clairs pour les plafonds afin d'avoir la capacité de diffuser la lumière sans éblouissement, ainsi que de définir une couverture sombre au niveau des sols pour but d'accentuer la capture d'énergie à ces niveaux, mais également l'utilisation des teintes différentes sur les parois internes parviennent à donner plus de contrôle sur le taux de la diffusion de lumière et la prise d'énergie solaire comme étant un gain de chaleur.

**NB :** Les teintes les plus aptes à convertir la lumière en chaleur et l'absorber sont sombres et plutôt bleues, par contre celles les plus aptes à réfléchir la lumière et la chaleur sont claires et plutôt rouge. (M. Mahmoudian, P. Sharifikheirabadi. 2019)

Avec un simple jeu de couleurs sur la surface interne d'un bâtiment, et grâce à des matériaux mats et de surface granuleuse, on peut notamment capter et diriger la lumière ainsi de la convertir en chaleur puis de se faire compter sur des méthodes de ventilation adaptées pour diffuser cette dernière plus profondément dans l'espace intérieur, afin de minimiser la

nécessite de système de chauffage et celui de climatisation, pour retenir une température ambiante intérieure entre 20 et 23°C l'hiver comme en été.

### C. Conserver La Chaleur/La fraîcheur

Dans la période hivernale, l'énergie solaire capté doit être conservée à l'intérieur du bâtiment afin de pouvoir l'exploiter le plus possible. Par contre en été, c'est la fraîcheur qui doit être maintenu durablement afin d'éviter les surchauffes durant le jour. Et pour cette cause la méthode la plus fondamentale pour conserver cette chaleur consiste à sauvegarder cette énergie dans les matériaux lourds de forte inertie thermique qui consiste l'enveloppe du bâtiment à titre de béton, la brique pleine et la pierre, qui n'auront pas besoins d'aucune couverture à titre d'un isolant thermique depuis l'intérieur.

En revanche cette couche d'isolation est de l'extrême importance depuis l'extérieur de la construction.

**NB :** Le stockage de l'énergie dans les matériaux et le délai de restitution fait appel à leur chaleur massique, à leur volume global, mais aussi à d'autres caractéristiques physiques permettant de déterminer leurs performances énergétiques qui doivent être reconnu par le concepteur afin de les mieux placer dans des endroits les plus idéals durant la réalisation du chantier pour avoir une meilleure efficacité énergétique.

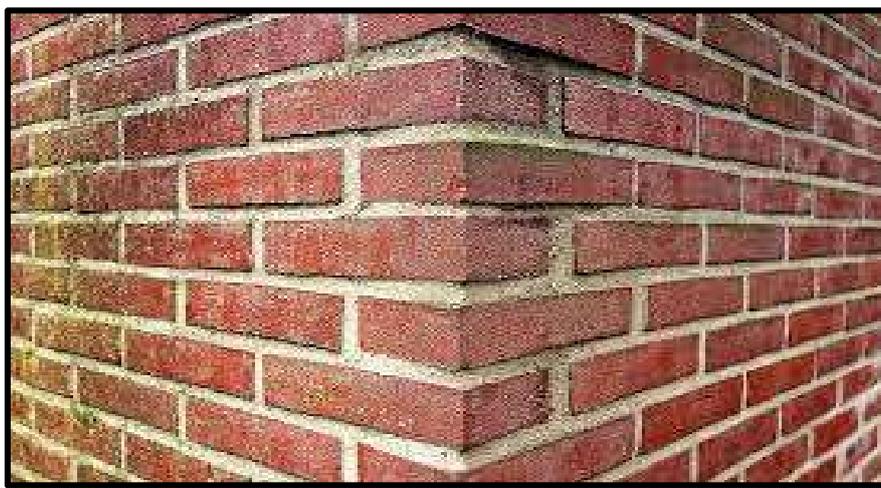


Figure I-12: Mur en brique pleine, un matériau naturel conservant de la chaleur.

(Source : mon-macon.net)

### I.3.4.2 La stratégie dans les périodes de surchauffe

Durant les périodes de surchauffe, le bâtiment est conçu pour suivre une stratégie qui consiste à protéger la construction des rayonnements solaires, les gains de chaleur, puis dissiper la chaleur élevée et l'abaisser à travers une ventilation naturelle en valorisant un courant d'air à l'intérieure de l'édifice. (K.M. Amine. 2019)

Cependant les notions à apprendre en compte dans la stratégie du froid sont également comme suit :

#### A. Protéger ou Controller

Il s'agit également de choisir une bonne orientation par rapport à la course solaire, la disposition des ouvertures sur les façades et leurs protections et même de projeter des brises solaire végétale si nécessaire. Ainsi de prévoir des espaces tampons et choisir des matériaux d'une haute résistance thermique.

#### B. Dissiper ou Aérer

Cette notion consiste également à créer un mouvement d'air naturellement à l'intérieure de la construction, par une disposition des ouvertures bien réfléchit de manière à favoriser les échanges d'air entre la façade de haute pression et celle de basse pression, afin d'arriver à une température intérieure ambiante.

#### C. Rafraichir

Ce paramètre se procède par le positionnement des bassins d'eau dans les façades les plus exposées au rayonnement solaire durant toute la journée pour obtenir une évapotranspiration qui va augmenter à son tour le taux d'humidité dans les endroit. Ainsi, il sera indispensable d'implanter également de la végétation dans le périmètre, qui permette de ne pas stocker de la chaleur et de générer de la fraîcheur.

### D. Minimiser

Cette procédure vise à réduire la production des apports de chaleur provenant des aménagements internes de la bâtisse (éclairage artificiel, chaudière, téléviseurs et autres) pendant la période du surchauffe, pour ne pas vélariser l'augmentation de la température.



Figure II-13: La stratégie du froid.

(Source: econo-ecolo.org)

## I.3.5. Les Techniques Utilisées Dans L'architecture Bioclimatique

### I.3.5.1. Le Puits Canadien

Le puits canadien appelé aussi puits provençal, est une méthode ancienne mais ingénieuse qui consiste à faire passer, avant qu'il n'infiltré dans la maison, une partie de l'air neuf aspire de l'espace naturel extérieur par des tuyaux enterrés dans le sol, à une profondeur d'environ de 1.5 mètre afin d'en profiter de la température stable du sous-sol durant toute l'année, pour favoriser les échanges thermiques à ce niveau. [3]

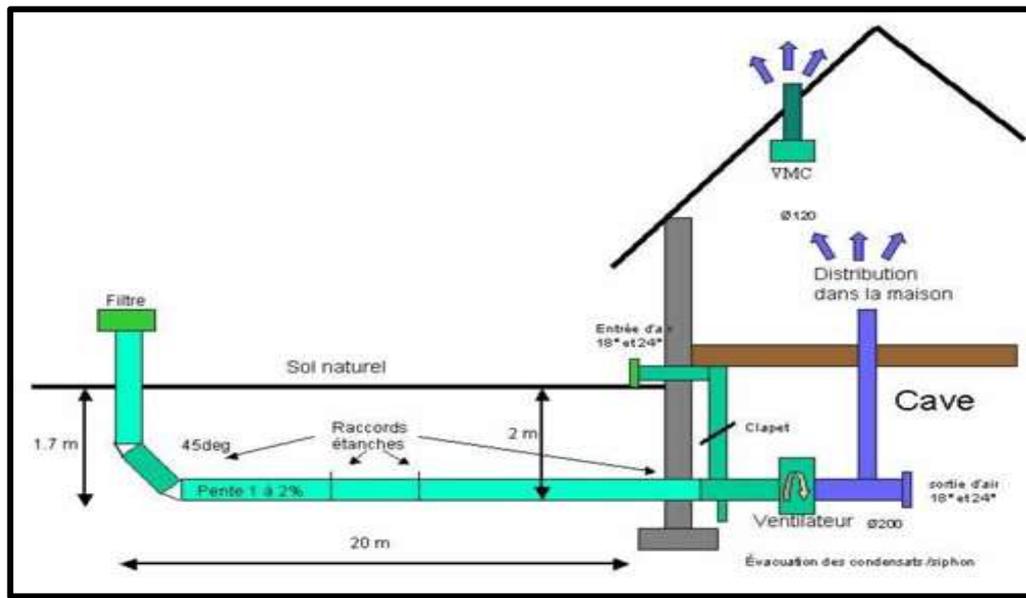


Figure I-14: Schémas montre le principe d'un puits canadien.

(Source : climamaison.com)

En hiver, le sol à une telle profondeur est plus chaud que la température extérieure ce qui signifie donc que l'air froid est préchauffé lors de son parcours dans les tuyaux vers le bâtiment. Ainsi un puits canadien pourra naturellement réchauffer un air extérieur de (-15°) et l'amener à une température ambiante de 5° dans les pièces à vivre. Cette récupération d'énergie s'effectue naturellement et gratuitement sans aucune dépense d'autres énergies par un échange thermique des tubes d'air enterrés dans le sol.

Par contre, en été le sol est à l'opposé plus froid que la température extérieure qui permette alors à ce puits astucieux, d'utiliser la fraîcheur relative du sol pour régulariser la température du l'air entrant dans le logement afin d'obtenir un confort thermique à l'intérieur de manier la plus naturel. Ainsi avec une température extérieure voisine de 30° l'air introduit peut par échange frigorifique avec la terre être abaissé jusqu'à 22°.

Ce système de réchauffer ou de rafraîchir peut également être connecté avec d'autre système mécanique soit ou informatique (bouche d'aération, ordinateur central, détecteurs de température) pour permettre de stabiliser automatiquement la température ambiante à l'intérieur et offrir plus de control aux utilisateurs vers mieux agir à l'intérêt de leurs conforts

### I.3.5.2. L'utilisation Des Panneaux Solaires photovoltaïques

Un panneau solaire est un dispositif technologique fabriqué à base de silicium extrait souvent dans le sable, qui a la capacité de convertir une grande partie du rayonnement solaire notamment en énergie thermique mais aussi en un courant électrique continu transformé après en courant alternatif par un onduleur, grâce à des cellules solaires thermiques ou photovoltaïques composées de matériaux semi-conducteurs lorsque. Les panneaux photovoltaïques s'installent généralement sur le toit ou sur le sol mais peuvent également être placés sur les façades les plus ensoleillées des constructions durant la journée. [4]



Figure I-15: La disposition des panneaux solaire sur le toit et sur la façade.

(Source : [blog.materielectrique.com](http://blog.materielectrique.com))

#### I.3.5.2.1. Les différentes installations photovoltaïques

##### a) Les installations sur site isolé

Ce système de montage est adapté aux installations qui ne pouvant pas être connecte au réseau électrique public. Cependant l'énergie générer doit être directement consommée ou stockée dans des accumulateurs spéciaux pour permettre de répondre à la totalité des besoins durant le temps.

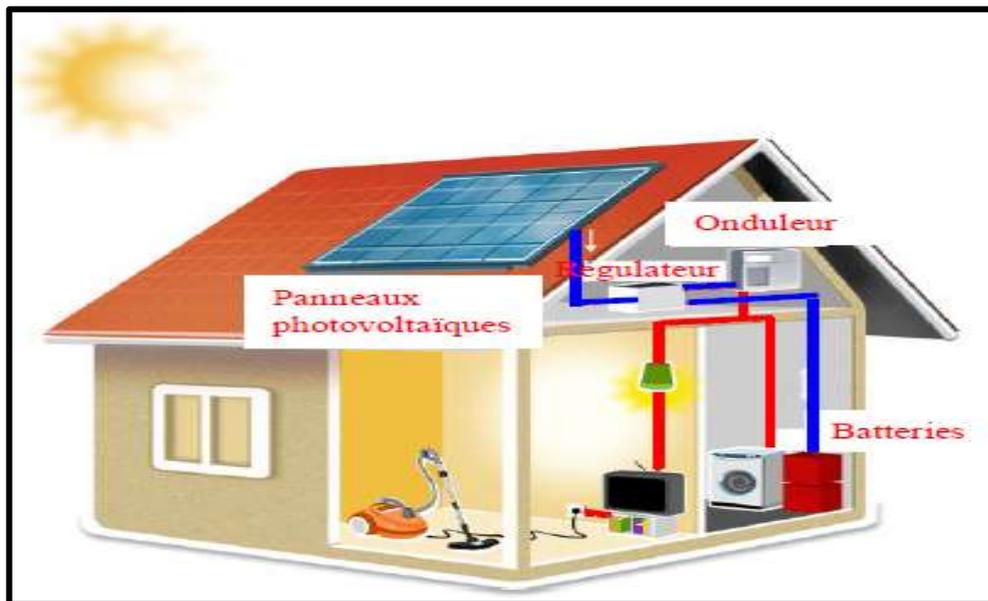


Figure I-16: Schémas d'une installation isolée de panneaux solaires.

(Source: solar-power-company.com)

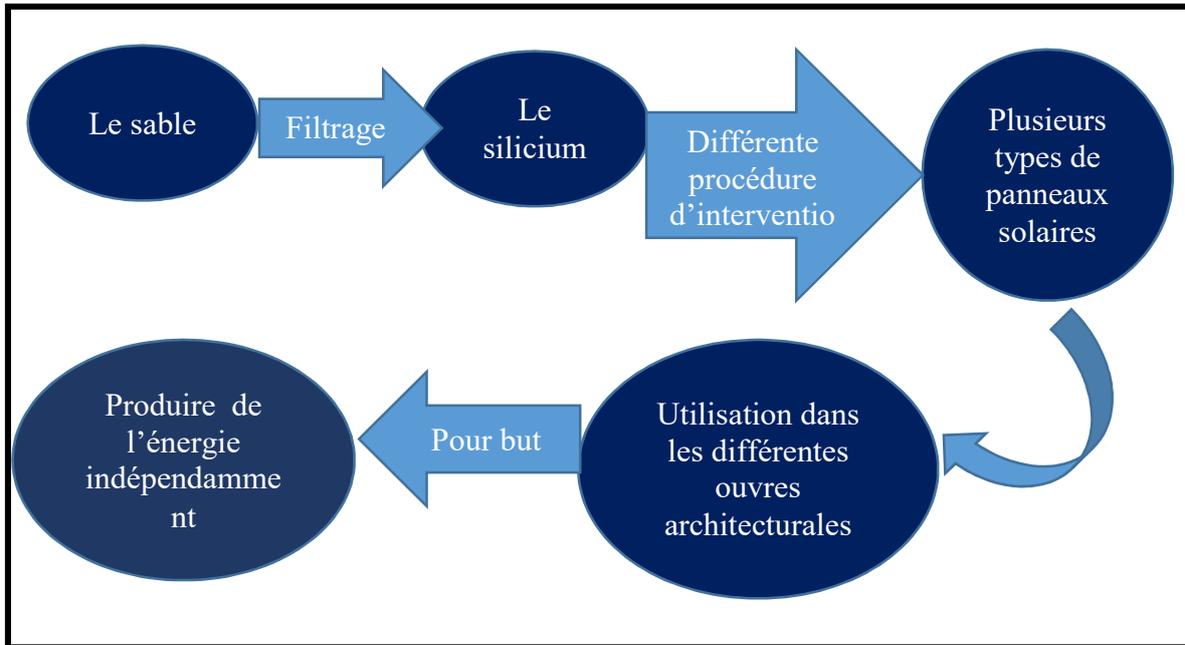
#### b) Les installations raccordées au réseau de distribution public

L'énergie électrique produite par les panneaux solaires photovoltaïques peut être également envoyée ou même revendue sur le réseau de distribution public qui permet de réaliser des économies et des rentabilisations.



Figure I-17: Installation de panneaux solaires sur un toit particulier et sur un abri d'un parking. (Source : cosinus.fr)

Les installations solaires photovoltaïques ont aujourd'hui atteint un stade de maturité technique notamment dans les constructions afin de solliciter la production de l'énergie par ces derniers pour satisfaire leurs propres besoins d'une manière indépendante. Du coup il existe de nombreux types de ces panneaux distingués selon leurs processus de fabrication et les adjuvants ajuster dedans ainsi que de leurs rendements énergétiques et plusieurs d'autre facteurs.



Schémas explicatif du cycle de vie d'un panneau solaire.

(Source : Auteur, 2021)

Tableau I.2 : Tableau Comparatif entres trois principales technologies de capteurs utilisés pour la fabrication des panneaux photovoltaïques.

TECHNOLOGIE	MONOCRISTALLIN	POLYCRISTALLIN	AMORPHE
CELLUL ET MDULE			
RENDEMENT	- Très bon rendement 14 à 20%	- Bon rendement : 11 à 15 %	- Rendement faible : 5 à 9 %
RENDEMENT PAR RAPPORT A L'ECLAIREMENT	-Rendement faible sous un faible éclairement.	-Rendement faible sous un faible éclairement.	-Fonctionnement correct avec un éclairement faible.
RENDEMENT PAR RAPPORT A LA TEMPERATURE	-Perte de rendement avec l'élévation de la température.	-Perte de rendement avec l'élévation de la température.	-Peu sensible aux températures élevées. -Rendement faible en plein soleil.
DUREE DE VIE	- Importante (30ans).	- Importante (30ans).	Assez important (20ans).
LE COUT DE FABRICATION	-Elevé.	-Meilleur marché que les panneaux monocristallin.	-Peu onéreux par rapport aux autres technologies.
LA PUISSANCE	- 100 à 150 Wc/m <sup>2</sup> 7 m <sup>2</sup> /KWC	- 100 Wc/m <sup>2</sup> 8m <sup>2</sup> /KWC	50 Wc/m <sup>2</sup> 16m <sup>2</sup> /KWC
FABRICATION	- Elabores à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifie en formant un seul cristal.	- Elabores à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant en forme de plusieurs cristaux.	- Couche très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédés de évaporation sous vide.

(Source : L. Yassine, K. Abdessamad, A. Salim, 2016)

### J.3.5.3. L'utilisation Des Eoliennes « L'éolienne domestique »

En 2012, l'énergie éolienne a prouvé son statut de deuxième source d'électricité renouvelable au monde, avec une production mondiale de 534,3 TWh, qui représente aujourd'hui 11,4 % de la production d'électricité renouvelable et 2,4 % de la production totale d'électricité. [5]



Figure I-18: Eolienne pour maison individuel isolé dans un terrain dégagé.

(Source : quelleenergie.fr)

Ce sont des éoliennes de petites et moyennes puissances, installés à l'intérêt des maisons individuelles situés dans des endroits isolés non raccordés au réseau public d'électricité, pour permettre de s'alimenter en énergie électrique en totale autonomie. Si l'énergie produise n'est pas consommée immédiatement, elle sera stockée dans des batteries de stockage pour l'utilisée dans le besoin, afin de réaliser des économies de l'électricité. [6]

Les éoliennes domestique appelées aussi les aérogénérateurs sont des dispositifs transformant l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, laquelle est ensuite transformée en énergie électrique. Ce type d'éolienne Génère entre 100 watts et 30 kilowatts et montée sur des mâts de 8 à 30 mètres, elles sont soit reliées au réseau électrique, soit installées sur des sites isolés pour un bénéfique personnel. (Arnaud bouvard.2021)

**NB :** « une éolienne domestique n'occasionne aucune pollution atmosphérique, ni déchets, elle ne modifie, ni la faune, ni la flore et elle ne présente aucun risque électrique. »

### I.3.5.3.1. Les types des éoliennes

#### a)- Les éoliennes à axe horizontal

Les horizontales sont souvent les plus utilisés, leurs hauteur sont habituellement de 20m pour les éoliennes de petites tailles, et supérieures au double de la longueur d'une pale pour les modèles les plus grands. Cependant, ces modèles se composent d'un mât, d'une nacelle et de deux jusqu'à trois pales qui sont perpendiculaires à la direction du vent. Ensuite ces parties sont fixées sur un moyeu qui forment ensemble le rotor. Au final le vent va faire tourner les pales entre 10 et 25 tours/mn pour engendrer de l'énergie mécanique qui sera transformé donc en énergie électrique selon les normes du réseau.

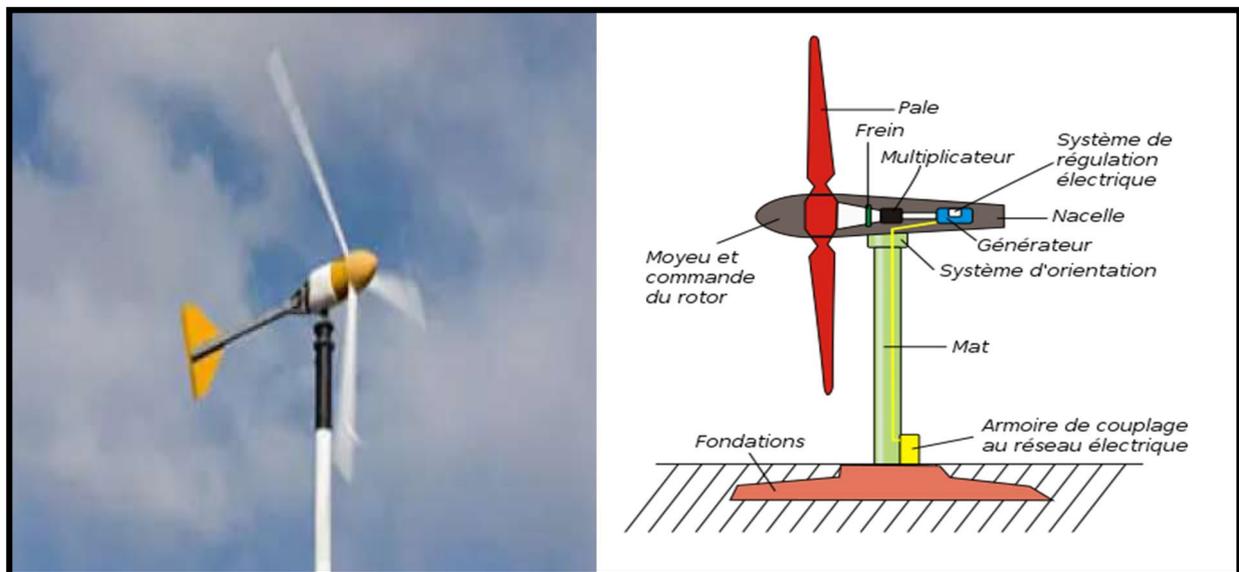


Figure I-19: Photo et Schéma d'une éolienne à axe horizontal.

(Source : futura-sciences.com)

#### b)- Les éoliennes à axe vertical

Contrairement aux éoliennes classiques à axe horizontal parallèle à la direction du vent, les éoliennes à axe vertical présentent un axe perpendiculaire par rapport à la direction des vents. Du coup, ce type est souvent utilisé pour des applications de petites puissances qui fonctionnent de la même manière que leurs semblables à axe horizontal, mais également avec moins de bruit généré. Cependant ces dispositifs ne démarrent qu'à une certaine vitesse de vent, dans lesquelles est parfois nécessaire d'assurer mécaniquement leurs démarrages. [5]



Figure I-20: Photo d'une éolienne à axe vertical.

(Source : le-guide-de-la-maison.com)

### c)- Les éoliennes turboliennes

Les éoliennes turboliennes c'est la petite révolution dans le domaine des éoliennes. Elles sont plus performantes et moins encombrantes. Ces éoliennes ont une fonctionnalité semblable à celle des éoliennes traditionnelles avec une différence dans la composition qui s'agit de deux hélices qui tournent dans des sens opposés permettant de multiplier la production d'énergie. Ce type d'éolienne est beaucoup plus sécurisé par rapport aux autres, elle est souvent utilisée dans les environnements urbains où il y a une difficulté d'obtenir de puissants à partir des flux d'air dû au comblement des bâtiments. Ces modèles d'éoliennes sont généralement installés sur les toits des constructions pour permettent d'alléger néanmoins les problèmes de consommation énergétique et de modérer les pannes de courant. [6]



Figure I-21: Image d'une éolienne turbolienne en plein ville.

(Source : eolienne.f4jr.org)

### I.3.5.3.2. Critères de choix de sites pour l'installation des éoliennes

Le choix d'un site pour une implantation d'éolienne dépend de plusieurs facteurs qui doivent être présents pour un meilleur rendement électrique et une meilleure sécurité sociale. Ces facteurs sont présentés comme suit :

#### A- Le vent

L'efficacité d'une éolienne dépend notamment de son emplacement choisi par rapport à la direction, la vitesse et à la fréquence des vents présents sur le site d'implantation, qui influent à leurs tours sur la puissance et l'intensité de l'énergie fournie par ces machines. Ainsi qu'une éolienne fonctionne d'autant mieux lorsque les vents sont réguliers et fréquents. Par exemple un site avec des vents de 30 km/h de moyenne sera huit fois plus productif qu'un autre site avec des vents seulement de 15 km/h de moyenne. [8]

**NB :** Une vitesse des vents supérieure à 90 km/h peut également conduire à la destruction de l'éolienne ou à la nécessité de la suspendre (pales) pour en limiter les dégâts.

#### B- L'accessibilité du site d'implantation

L'accessibilité du site (topographie, virages, pente, passage de ponts...etc.) doit offrir sans aucun risque la possibilité de transporter les gros éléments de l'éolienne comme les pales, la tour et la nacelle, ainsi que les différents engins nécessaires pour assurer le montage.

### **C- La connexion au réseau électrique**

Pour cela, les petites fermes d'éoliennes sont le plus souvent situées à proximité des postes de transformation de haute tension afin de diminuer le coût de raccordement qui est liée directement en fonction de la distance par rapport à ces postes. Tandis que, pour les grosses fermes d'éoliennes le réseau d'accordement doit être en mesure de supporter l'énergie générée, et son renforcement est parfois nécessaire comme par exemple la création de nouveaux postes de transformations sur le champ d'installation.

### **D- L'éloignement par rapport aux zones d'habitations**

Une étude des effets sonores sur les citoyens est recommandée avant l'implantation des éoliens afin de mesurer la distance d'éloignement suffisante pour ne pas affecter sur le confort acoustique des habitants, cette implantation peut être modifiée dans l'obligation de respecter la réglementation qui dit que l'émergence sonore maximale des éoliennes sont de 5 dB le jour et pas plus de 3 dB la nuit.

### **Conclusion**

Un projet architectural bioclimatique réussira seulement si les différents participants à la conception ont compris le rôle décisif des différents composants d'un bâtiment en termes de matériaux et les systèmes dont il doit s'équiper.

Cependant la conception bioclimatique est étroitement liée au contexte climatique local et notamment au terrain d'implantation choisi. Dans cette vision, il faut garder un certain esprit critique par rapport aux principes énoncés ci-dessus et les mieux intégrer. Cela nécessite également une étude approfondie du terrain allant de l'étude du sol, à la topographie en passant par le climat, ensuite de prendre en considération tous les enjeux sociaux, économiques ainsi les impacts sur l'environnement afin d'établir une relation cruciale entre le confort des occupants et leur propre entourage.

Pour cette cause, la philosophie de la conception bioclimatique exige que dans chaque construction, il faut évidemment se fier aux professionnels du domaine (architectes, ingénieurs...) afin d'assurer que les solutions retenues sont vraiment pertinentes et surtout performantes en terme de l'efficacité énergétique afin d'agir dans un cadre respectueux à l'environnement.



# Chapitre II :

Les Matériaux Intelligents

## Introduction

Les premières civilisations se sont échafaudées grâce à des matériaux naturels saints qui se retrouvent uniquement dans leurs propres entourages. Mais également, le monde a connu tous récemment l'émergence des produits pétrochimiques grâce à la découverte et à l'exploitation des sources pétrolières souterrain, utilisés par la suite pour concevoir de nouveaux matériaux de construction dans le domaine des bâtiments et de l'industrie. Mais avec le temps, la succession des procédures de fabrication de ces matériaux ont un impact néfaste non négligeable sur l'environnement qui provoquera sa dégradation sans cesse. Pour ceci il serait indispensable de revenir aux produits naturels ou de découvrir d'autres substances avec d'autre manière de façonnement plus respectueux à l'environnement.

En 1842, le physicien anglais James Prescott Joule découvrit qu'une tige de fer soumis à un champ magnétique longitudinal s'allongeait suivant ce champ, en même temps elle peut se contractait transversalement. Après il donna à ce phénomène le nom de magnétostriction (les propriétés mécaniques de chaque corps sont en relations avec ses propriétés magnétiques). Ensuite il continuera à mettre plusieurs échantillons sous l'effet d'un champ magnétique afin d'y arriver à obtenir d'autres réactions spécifique pour chaque échantillon (des flexions et des torsions). Ce qui signifie que toutes actions-réactions d'un objet dépendent des caractéristiques de la matière de base qui le constitue et le type de force exercé sur cet objet. C'est à partir de là, que la notion des matériaux intelligents a commencé à avoir naissance et être un sujet d'étude pour les chercheurs scientifique. (C. Samir.2010)

« Grâce aux matériaux intelligents les fonctions sont inscrites dans la forme et dans la matière » **Joël DE ROSNAY**. Les matériaux intelligents ou aussi dénommés matériaux adaptatifs sont des matières révolutionnaires récemment innovés dans plusieurs domaines, qui possèdent de nombreuses caractéristiques inhabituelles et extraordinaires destiné à améliorer le cadre de vie de l'être humain et son environnement. Ils sont composés généralement de substances piézoélectriques, électrostrictifs, magnétostrictifs et des Alliages à Mémoire de Forme, qui ont la capacité de modifier leurs propriétés physiques comme la rigidité en fonction d'un stimulus extérieur, à titre d'une contrainte mécanique, un champ électrique, un champ magnétique ou un changement de température afin de mieux adapter et mieux agir vis-à-vis a des circonstances. (Joël DE ROSNAY.2010)

## I. Les Matériaux Intelligents

### Définition

Les matériaux intelligents sont de plus en plus un sujet de recherche dans de nombreux domaines scientifiques. Elles sont novatrices et permettent le développement de technologies dans des domaines très divers tels que l'informatique, la robotique, le médical ainsi dans la construction des œuvres architecturales.

Cependant, un matériau intelligent est un matériau sensible, adaptatif et même évolutif. Il s'oppose au matériau classique habituel car il possède des fonctions qui lui admettent de se comporter comme un capteur (détecter des signaux externes), un actionneur (effectuer une action sur son environnement) ou parfois comme un processeur (traiter, comparer, stocker des informations, réagir). Ce matériau est capable de modifier spontanément ses caractéristiques physiques, notamment sa forme, sa connectivité, sa viscosité et sa couleur, en réponse à des provoques naturels venant de l'extérieur ou de l'intérieur du matériau à titre des, contraintes mécaniques, des variations de température, des champs électriques ou magnétiques. Ce qui signifie que ces types de matériaux vont adapter leur réaction par rapport au changement exercé dans leurs entourages. (J. ROSNAY.2010)

Cependant, les matériaux intelligents sont divisés en trois catégories qui connaissent de multiples applications dans des secteurs divers, qui sont comme suit: les Alliages à Mémoire de Forme (AMF), les matériaux piézoélectriques, et magnétostrictifs.

## II.1. Les Alliages à Mémoire de Forme

### II.1.1. Définition

Les alliages à mémoire de forme sont généralement appelés AMF. Sont des matériaux subissent des déformations formelles au froid, mais ils peuvent également retrouvés leurs formes initial au-delà d'une certaine température par suite d'un changement de phase. Ce que signifie que le principe de base de ces matières repose sur une transformation structurale réversible (modification de la structure cristalline), en fonction de la température. Cependant, ces matériaux sont dits à « mémoire », car ils ont la capacité de retrouver leurs formes de base après la transformation. (J. ROSNAY.2010)

Ce type de matière sont, de plus en plus connus et utilisés. Plusieurs applications ont vu le jour au cours des dernières décennies dans plusieurs domaines tels que l'usage biomédical, l'aérospatiale, la robotique, la construction et bien d'autres. Les AMF sont utilisés afin d'exploiter leur propriété de mémoire de forme, leur propriété super élastique ou leur particularité amortissante qui permette d'absorber les diffères contraintes exercés sur eux, pour garder la stabilité de la structure. (C. Samir.2010)

### II.1.2. Famille d'alliage

Les matériaux a mémoire de forme sont généralement des alliages métalliques tels que le titane-nickel (Ti-Ni) et les alliages cuivreux (Cu-Zn-Al, Cu-Al-Ni, / Cu-Al-Be) qui sont plus connues et qui possèdent de bonnes propriétés thermomécaniques. tout en ayant des prix industriellement compétitifs. Contrairement aux alliages de type or (Au-Cd, Cu-Au-Zn) et argent (Ag-Cd) qui sont trop coûteux et n'ont donc utilisés que pour les intérêts scientifiques puisqu'ils ne sont pas commercialisables. A la fin, ils existent des alliages de Fer (Fe-Mn-Cr-Ni-Si, / Fe-Cr-Ni-Co-Mn-Si) peu coûteux, mais possèdent des propriétés thermomécaniques plutôt limitées et qui ne tiennent pas tellement dans les endroits corrosifs. (C. Fizanne-Michel.2018)

### II.1.3. Notions de base

Les AMF doivent leurs caractéristiques à la présence de deux phases à l'état solide. La première phase c'est à basse température appelée « martensite » tandis que la deuxième phase c'est dans la température très élevée, dite phase mère, est appelé aussi « austénite ». La commutation réversible entre ces deux phases ainsi que les changements associés dans les propriétés électriques, thermiques et mécaniques permettent un contrôle passif des structures. (C. Samir.2010)

**A savoir :** L'austénite est une solution solide de carbone qui compose notamment les aciers, avec une structure cristallographique cubique à faces centrées. Cette solution est stable dans des températures entre 911°C et 1 392 °C à la pression atmosphérique. Tandis qu'a une température environ 1150 °C, cette composition du carbone subi une grande solubilité jusque 2.1 %. [9]

La transformation martensitique se passe dans les AMF grâce à une température basse mais sans diffusion des atomes, c'est-à-dire que les atomes ne se déplacent pas sur de longues distances. Ainsi que cette déformation se caractérise aussi par le non changement de volume global des métaux. (J. ROSNAY.2010)

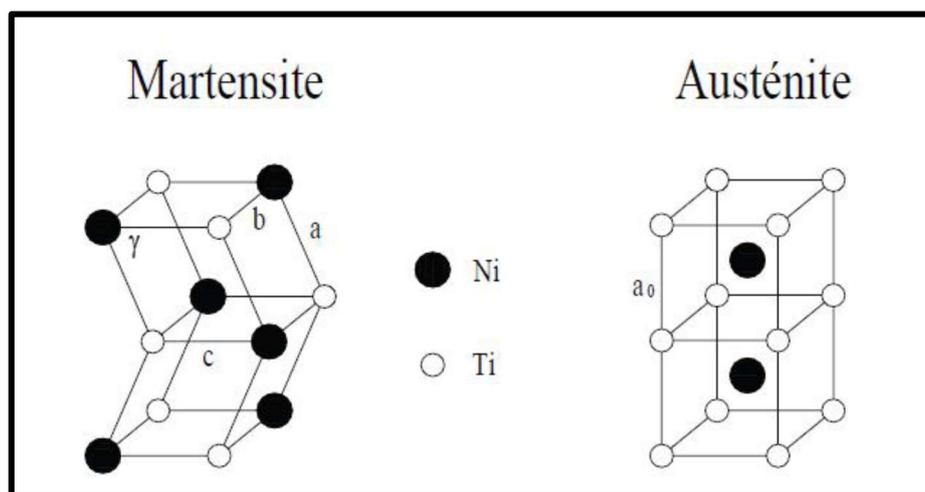


Figure II-1: Structure atomique de l'austénite et de la martensite.

(Source : C. Samir.2010)

### II.1.4. Applications Des « AMF » Dans La Construction

Dans le contexte de réchauffement climatique et de transition énergétique, la course aux matériaux de construction économes en énergie est lancée. Depuis de nombreuses sociétés ont fait naissance à une catégorie de matériaux révolutionnaire pour répondre aux exigences environnementales.

#### a) Applications pour la réparation des structures en béton

Plusieurs travaux ont été menés sur l'utilisation des AMF pour la réhabilitation des ouvrages. Seuls quelques cas ont abouti à la réparation des structures existantes a titre d'exemple, les réhabilitations de la cloche de la tour de l'église Saint Giorgio, des tympans de transept de la basilique Saint Francisco et de la synagogue de San Francisco. (Adoum Waibaye.2016)

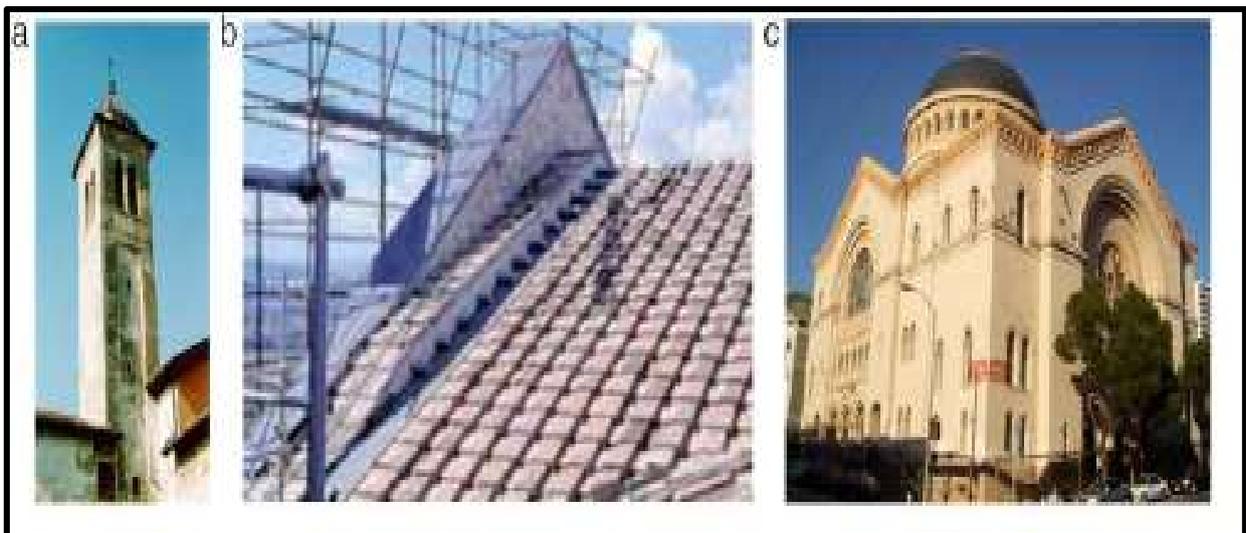


Figure II-2: Ouvrages ayant été réhabilité grâce à des AMF : a) église Saint Giorgio, b) basilique saint Francisco, c) synagogue de San Francisco.

(Source : Adoum Waibaye.2016)

Cependant, ces cas de figures présentent l'illustration de la propriété de super élasticité mise en place dans la procédure d'autorégulation de structures à l'aide des tirants en AMF.

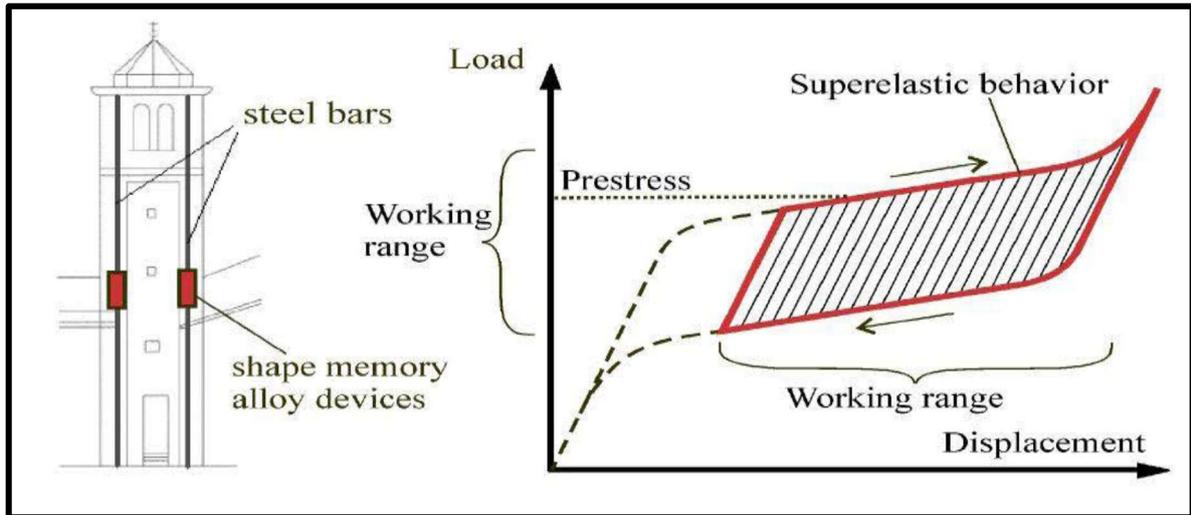


Figure II-3: Schéma de modification d'une tour grâce à des tirants en AMF.

(Source : A. Waibaye, 2016)

**b) Applications pour la fermeture de fissures dans le béton**

Un concept du béton armé « intelligent » a été mis en œuvre en se servant de l'activation de l'effet de se souvenir des AMF. Cependant des fils d'AMF initialement à l'état martensitique permettent de créer de la précontrainte dans la haute température. Ceci permet néanmoins de réduire l'ouverture des fissures dans un composant en béton (auto-réhabilitation). (Song G. 2006)

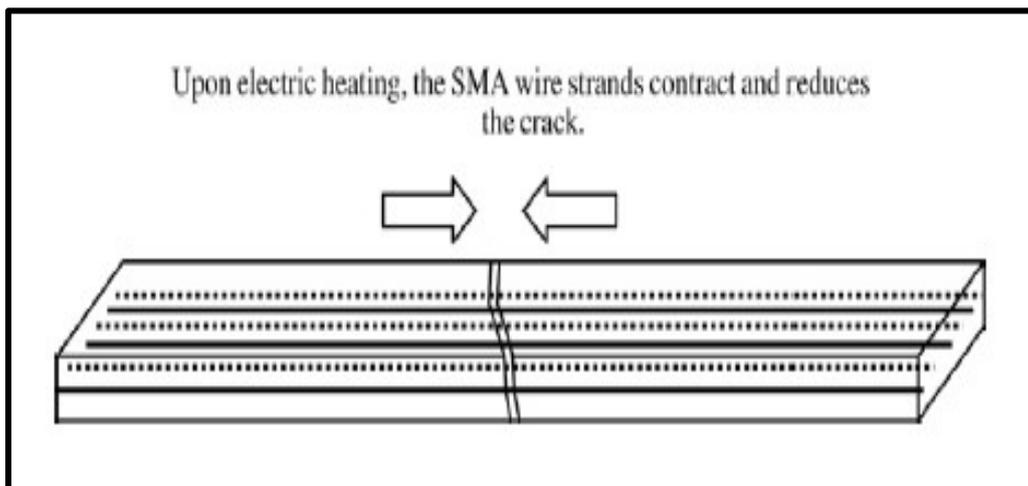


Figure II-4: Principe de béton armé intelligent.

(Source : Song G. 2006)

Une étude sur une poutrelle en flexion sur deux appuis a été réalisée afin concrétiser ce concept. Dans laquelle, des fils d'AMF sont incorporés dans la poutrelle. Un dispositif électrique permet de chauffer les fils par effet Joule. Ensuite une charge est appliquée à mi-portée, qui cause l'apparition des fissures sur la surface du béton. Après, un courant électrique est appliquée dans les fils AMF qui cherchent alors à se raccourcir afin de refermer les fissures et regagner la forme initiale. (Song G. 2006)

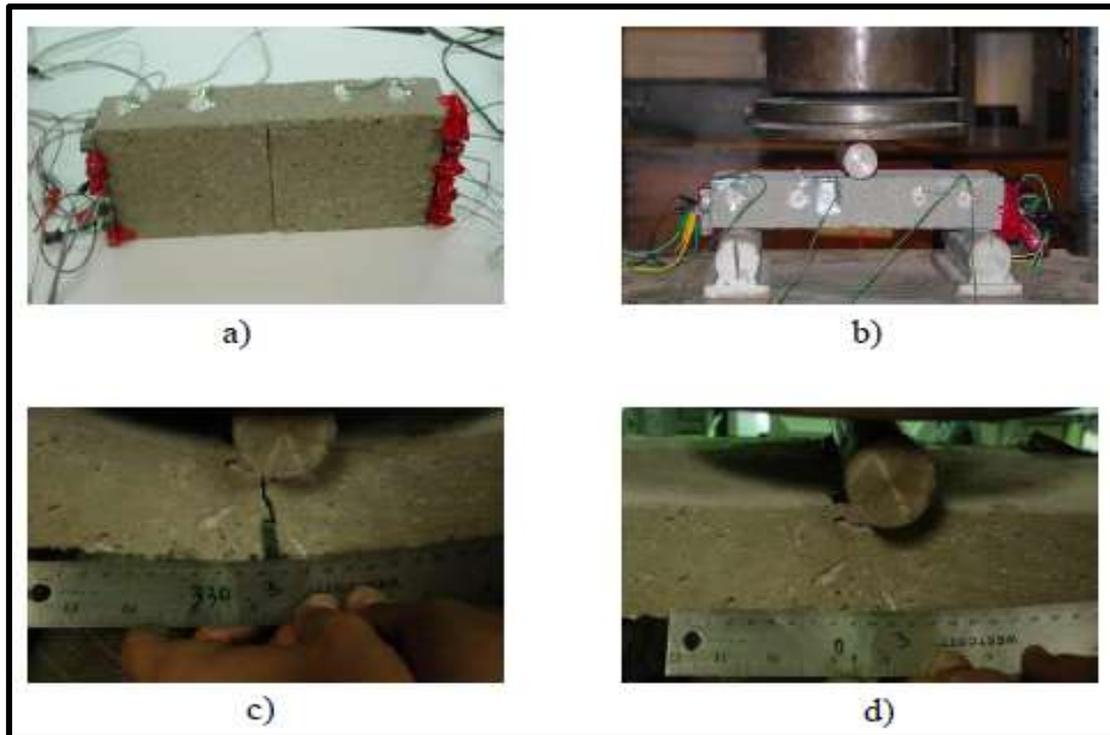


Figure II-5: Applications pour la fermeture de fissures dans le béton. a) poutrelle et fils électriques permettant de chauffer les AMF intégrés dans le béton, b) poutrelle sollicitée en flexion, c) ouverture de fissure, d) fermeture de fissure grâce à l'activation thermique des AMF. (Source : Song G. 2006)

Des œuvres réalisés sur une poutre en béton dans laquelle sont incorporés des fils d'AMF avec la soumission d'une charge importante sur celle-ci afin de créer des fissures en son sein. Toute fois lorsque la poutre est déchargée, les fissurent se referment grâce à la propriété de mémoire de forme des AMF (auto-restauration de la structure). (Otero K.2004)

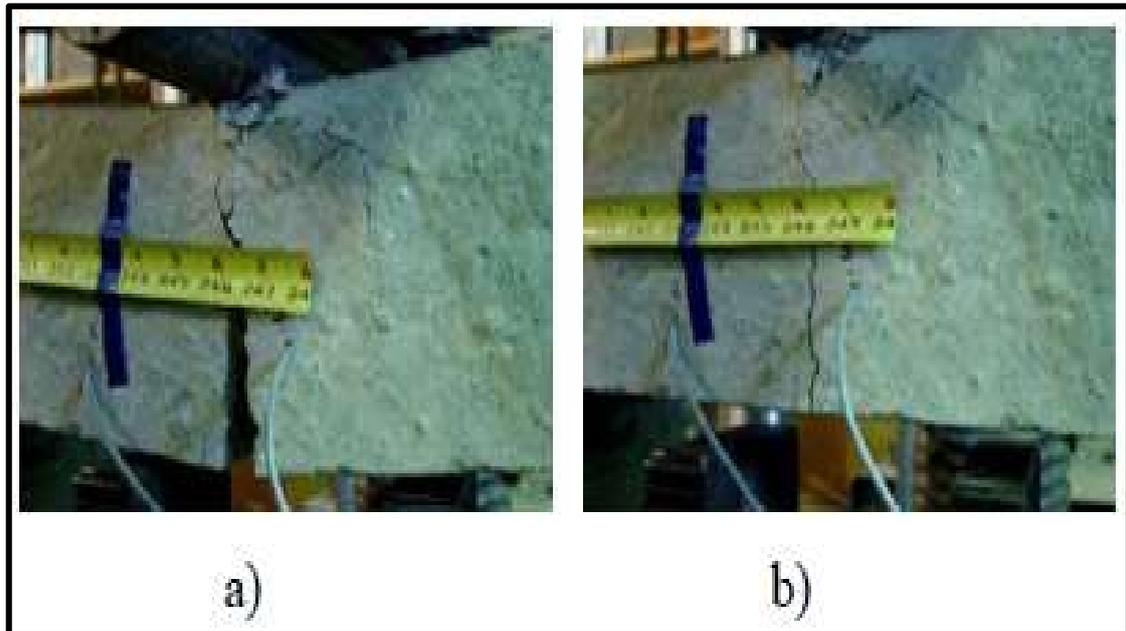


Figure II-6: Poutre contenant des fils en AMF. a) ouverture de fissures provoquée par chargement mécanique, b) fermeture de fissures grâce à auto-restauration.

(Source : Otero K.2004)

### c) Applications pour la création de précontraintes dans des structures en béton

Des essais de compression ont été réalisés sur des éprouvettes cylindriques en béton à la fois confinées et non-confinées, à l'aide des fils en AMF. Les résultats obtenus montrent que la résistance des cylindres confinés est beaucoup plus supérieure à celle des cylindres non-confinés. Du coup, on distingue que les déformations subi par des éléments conçus en béton peuvent également être contrôlé et de même d'être évité. De plus, le confinement actif (après la transformation) est plus efficace que le confinement passif (utilisation de l'AMF sans transformation). De manière générale, la présence du fil en AMF améliore de manière significative la performance mécanique du béton en termes de rigidité et souplesse, ainsi par conséquence augmentera de plus la durée de vie du matériau. (T. Balandraud, Destrebec. 2015)

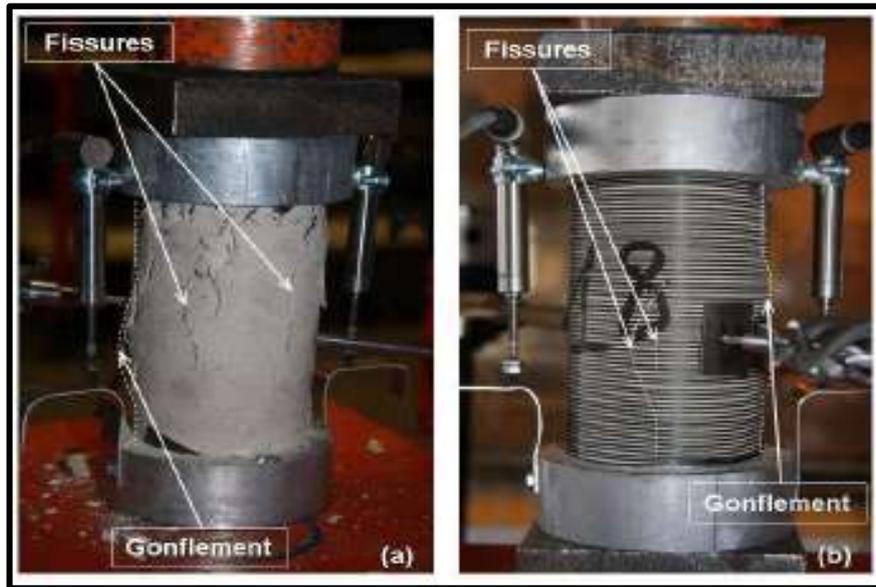


Figure II-7: Ecrasement de cylindres en béton : a) non-confiné, b) confiné à l'aide d'un fil AMF. (Source : T, Balandraud. Destrebec. 2015)

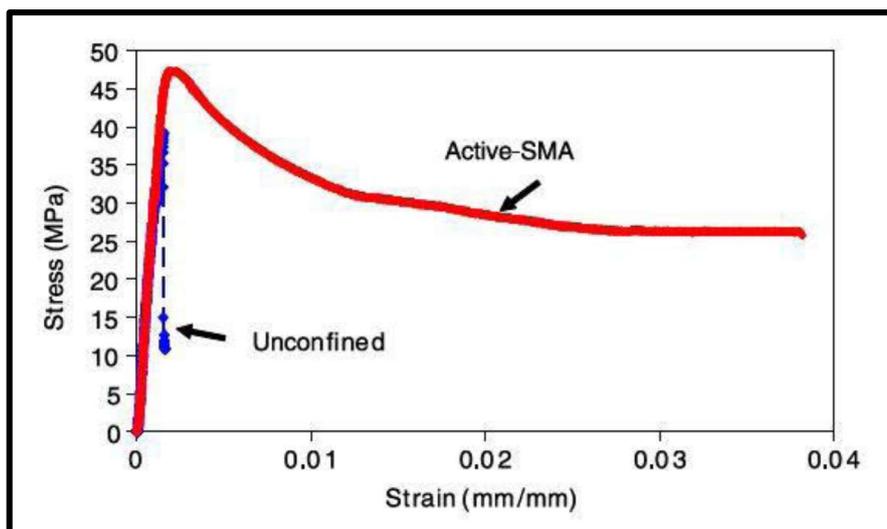


Figure II-8: Diagramme de comparaison entre des cylindres non-confiné et confiné activement. (Source : T, Balandraud. Destrebec. 2015)

#### d) Applications pour le contrôle sismique des structures

En termes de prévention sismique, des chercheurs ont développé et étudié un système d'isolement par dissipation de l'énergie sismique grâce à des fils et des ressorts en AMF qui vont être installés au sein de la structure de l'ouvrage. Cependant, un impact mis en évidence de ces alliages notamment sur le changement de fréquence, de résonance, du système et

d'amplitude dans ces travaux. Tandis que d'autre ils ont exploité ces AMF pour amortir et absorber les forces de vibration dans un câble de pont ainsi ces fréquences afin de diminuer en temps réel les effets sismiques sur l'ensemble de l'ouvrage. (Herbert G.2014)

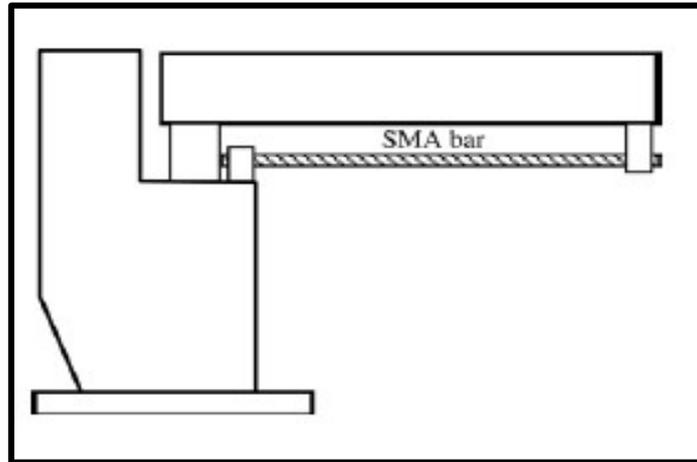


Figure II-9: Schéma d'installation d'une barre en AMF sur un pont pour la prévention sismique. (Source : Adoum Waibaye.2016)

De plus, dans les cas des ouvrages du génie civil, plusieurs travaux ont été menés notamment au niveau des baies du bâtiment par l'installation des dispositifs de distraction d'énergie en fil AMF.

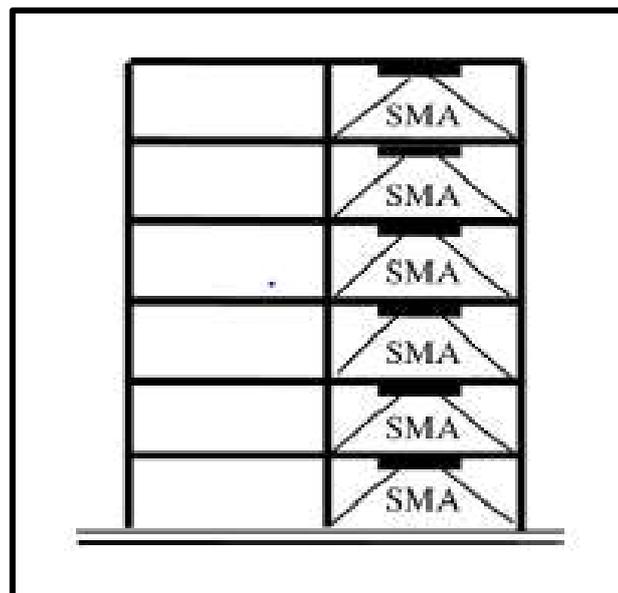


Figure II-10: Schéma d'installation des bretelles en AMF pour la prévention sismique (Source : Adoum Waibaye.2016)

Ainsi que les aciers conçu a base des AMF avec effet unidirectionnel (peuvent pas revenir à l'état initial), pourrait également être utilisé dans la construction des éléments de l'ossature d'un bâtiment, tels que les poutres en treillis et celles en béton et même dans le système de contreventement pour plus d'efficacité contre l'effort sismique. (S.Jerzy .2020)

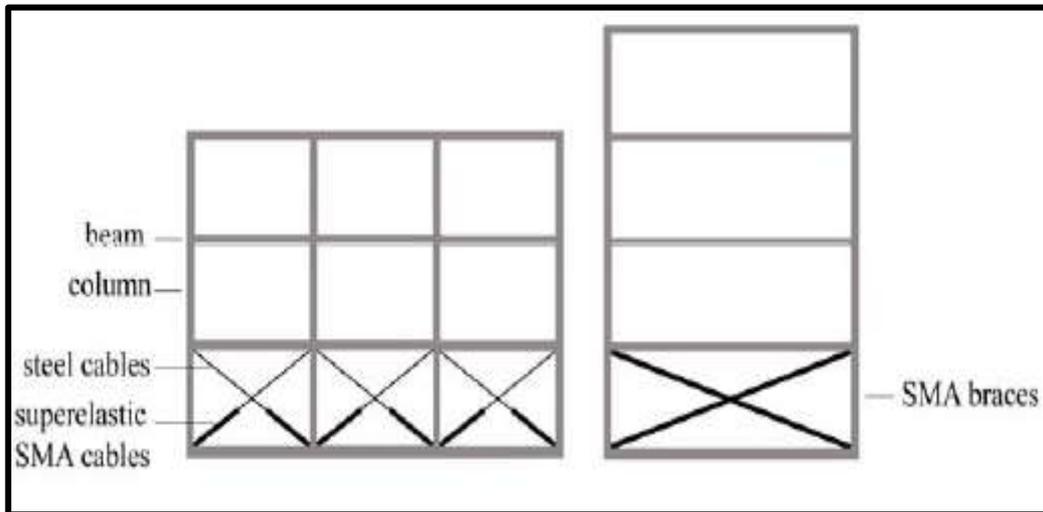


Figure II-11 : Représentation schématique des contreventements AMF pour une structure de bâtiment en acier. (Source : S. Jerzy .2020)

## II.2. Les Matériaux Piézoélectriques

### II.2.1. Définition

Les matériaux piézo-électriques se sont des matières qui ont la capacité de produire une tension électrique lorsqu'ils subissent une contrainte mécanique (effet piézoélectrique direct). Par exemple lorsqu'ils sont comprimés génèrent un courant électrique, grâce à des dispositifs spéciales introduits Intérieurement. Du plus ils peuvent également de se déformer mécaniquement sous la soumission d'un champ électrique (piézoélectrique inverse). Cependant la fréquence du signal électrique engendré et son amplitude varient directement en fonction de la force des déformations mécaniques qu'ils subissent. (J. ROSNAY.2010)

### II.2.2. Le phénomène de la piézoélectricité

L'effet piézoélectrique repose sur la propriété particulière de certains matériaux qui peuvent se polariser sous l'application d'une force, et qui inversement se déforment lorsqu'ils

sont soumis à un champ électrique. Ces matériaux sont généralement constitués de céramique et plus récemment de polymères. Les plus connus sont les quarts qui ont été utilisés notamment pour amortir des vibrations et réduire l'impact d'un bruit. Comme par exemple, entourer un axe rotatif avec des matériaux piézo-électriques afin de diminuer considérablement les vibrations. (J. ROSNAY.2010)

Les caractéristiques piézoélectriques de ces céramiques résultent de la polarisation initiale dans un champ électrique à température contrôlée. Les céramiques massives ainsi produites peuvent générer des contraintes de l'ordre de 40 MPA avec des déformées relatives de 1000 à 2000 partie par million (ppm).

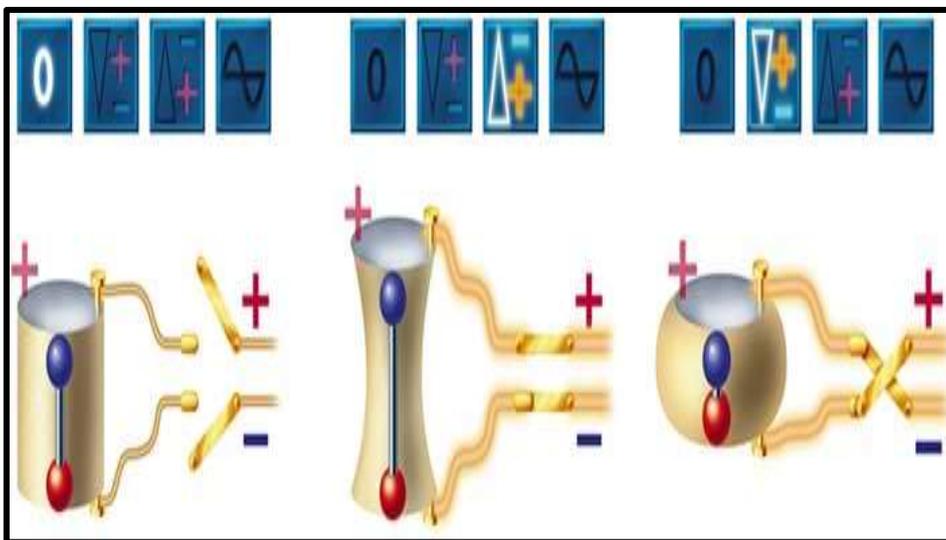


Figure II-12 : Effet piézoélectrique directe et inverse.

(Source : ceramtec.fr)

### II.2.3. Principales Classes De Matériaux

#### A. Céramiques massives

On distingue des céramiques dures, utilisées pour des applications qui nécessitent d'exercer une tension importante et des céramiques douces nécessitant juste de faibles tensions et plutôt adaptées à des applications de faible puissance. (C. Samir.2010)

## B. Céramiques multicouches

Afin de réduire les niveaux de tensions requis, sans pour autant limiter l'intensité du champ électrique, c'est possible d'ajouter au sein du matériau un système d'électrodes de taille micrométrique. L'actionneur est alors constitué d'une accumulation de plaques ou de disques de faible épaisseur entre lesquels sont intercalées des électrodes inter qui permettent d'obtenir sous une tension réduite (typiquement de l'ordre de 100 à 200 V) des déplacements relativement importants. (C. Samir.2010)

**A savoir :** Un Actionneur est un objet qui transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique qui fournit un travail, modifie le comportement ou l'état d'un système.[10]

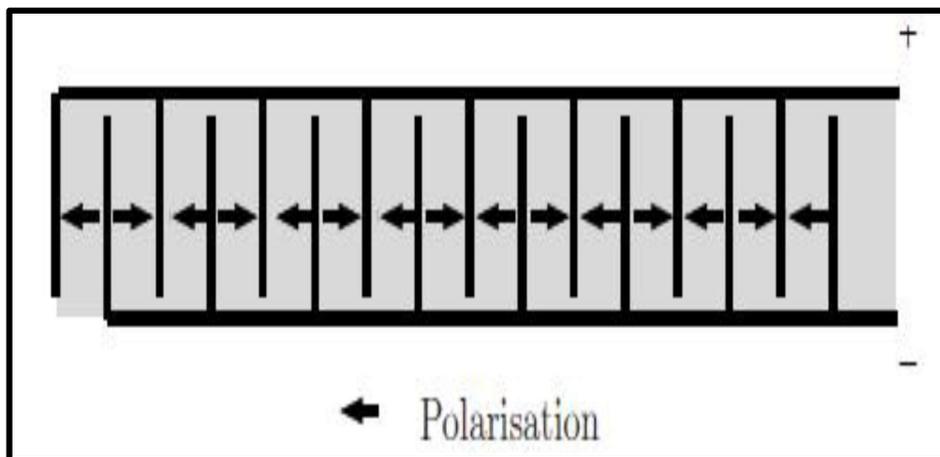


Figure II-13: Constitution d'une céramique multicouche.

(Source : C. Samir.2010)

**NB :** les actionneurs constitués de céramiques massives ou multicouches présentent l'inconvénient d'être fortement cassants, il est déconseillé de faire travailler une céramique multicouche en traction ou en torsion, ainsi que le montage mécanique doit donc éviter l'application de tout effort mécanique autre qu'une compression. Du plus l'utilisation de ces actionneurs est moins adaptée à des structures où l'application des efforts se fait selon des géométries complexes.

### II.2.4. Les Composites Piézoélectriques

C'est pourquoi les fibres piézoélectriques offrent de nouvelles possibilités pour la conception d'actionneurs piézoélectriques dans des géométries plus complexe avec une bonne conformabilité. Des fibres piézoélectriques sont prises dans une matrice souple, et des électrodes placées sur un film polymère permettent d'appliquer le champ électrique. Cependant Les performances intrinsèques atteintes par les composites sont fortement dépendantes de la densité de fibres piézoélectriques au sein de la matrice polymère. De telles fibres permettent d'obtenir des déformées de l'ordre de 2000 ppm dans la direction longitudinale. (C. Samir.2010)

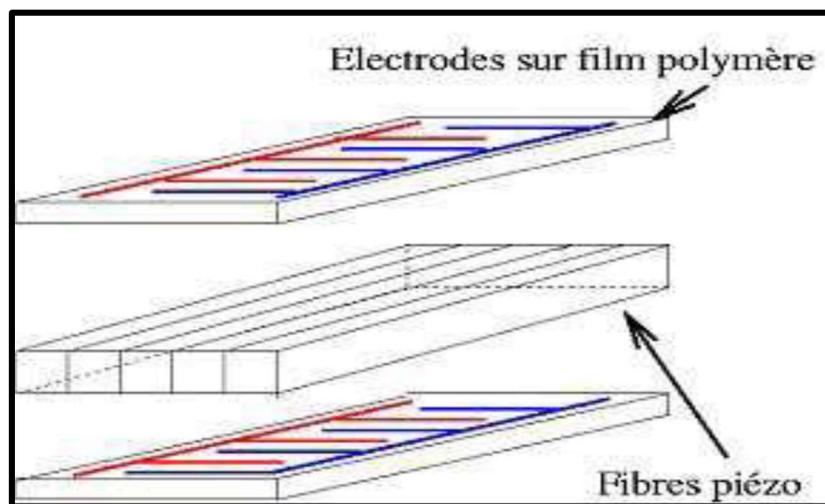


Figure II-14: Schéma de principe de constitution d'un piézoélectrique.

(Source : C. Samir.2010)

#### II.2.2.4. Applications Des Matériaux Piézoélectrique

Des applications assez intéressantes pour les matériaux piézo-électriques dans de multiple domaine comme par exemple, dans l'aérodrome (le contrôle de santé de certains matériaux intervenant dans la construction des carlingues d'avions), dans des interventions médicales (chirurgicales) et dans les ciments (élément de base dans la construction des bâtiments). Ces applications sont possibles grâce à des capteurs piézo-électriques introduits dans des systèmes de base, afin de détecter des défauts localisés, a titre des fissures, des trous ou des impacts. (J. ROSNAY.2010)

## 1. Le Ciment Intelligent

Le ciment intelligent est un ciment classique doté d'une sorte de « système nerveux » qui lui permet de détecter des changements internes et de les transformer en information afin de le transmettre à l'extérieur. Avec ce type de ciment, il est également possible de construire des grands murs de soutènements, des ponts ou des barrages capables d'avertir les ingénieurs des zones de fragilisation aux endroits même où des fissures ou des fractures peuvent apparaître plus tard. (J. ROSNAY.2010)

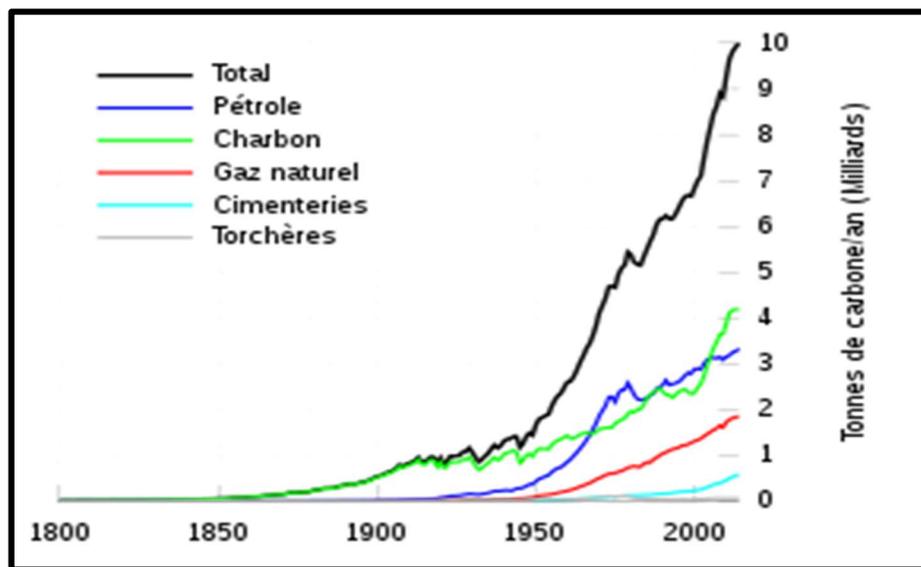


Figure II-15: Diagramme de l'évolution de l'utilisation du ciment depuis le 19ème siècle.

(Source : fr.wikipedia.org)

L'idée de base été de créer dans le ciment un véritable système agissant à base de fibres de carbone. Ces dernières de 10 microns de diamètre et de quelques cm de long sont mélangées au ciment classique au moment de sa préparation. Même si elles ne représentent que 0,05 % de son volume ces fibres accroissent ses conductibilités électriques de 10 % et permettent notamment de faire passer le courant vers l'extérieur pour assurer un bon contact électrique. Cependant on peut donc placer des électrodes en n'importe quel point de la surface d'une construction avec le ciment intelligent et détecter un changement de stress. Ensuite sa serait suffisamment pour cela de mesurer la résistance électrique du ciment pour distinguer la différence dans la tension qui va déterminera la zone précise de la fissure proche avant qu'il ne soit totalement fissurée par un choc mécanique. (J. ROSNAY.2010)

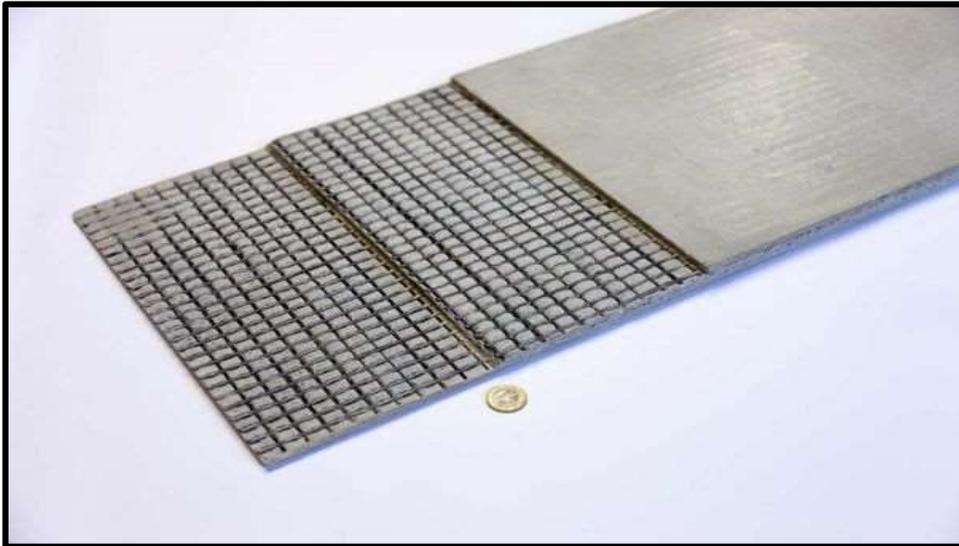


Figure II-16: Les fibres du Carbone.

(Source : industrie-techno.com)

## 2. Le Ciment Géo-Polymère « intelligent »

Plus tard tous constructions tels que les bâtiments, les immeubles, les maisons et même des trottoirs peuvent être transformé en batteries capables de stocker des énergies renouvelables à titre d'énergie des panneaux solaires et de la restituer le soir venu aux occupants. Grâce à un seul et même matériau, qui est bien le ciment géo-polymère.

Le ciment géo-polymère est un matériau innovant et une véritable alternative au ciment portland classique pour une utilisation dans des applications en génie civil. Ce ciment est conçu à base de potassium, de cendre volante (issue de la combustion du charbon), de laitier de haut fourneau et d'autres composants chimiques non publiés. La diffusion des ions de potassium à travers la structure cristalline assure la conductivité électrique. Selon les chercheurs du domaine, une fois cette tension est parfaitement au point, le ciment pourrait offrir une capacité de charge et de décharge comprise entre 200 et 500 watts par mètre carré. En plus ce mélange serait moins onéreux que le ciment classique qui est pourtant le matériau de construction le plus répandu depuis les milieux de 19eme siècle. De plus, l'autre propriété intéressante qu'offre ce matériau est la capacité de signaler immédiatement toute dommage de la structure tel qu'une fissure, qui va perturber la conductivité des ions, ce qui permet de détecter automatiquement tout problème menaçant l'intégrité d'un bâtiment sans recourir à des capteurs externes ou des visites d'entretien préventives. (Marc Zaffagni.2014).

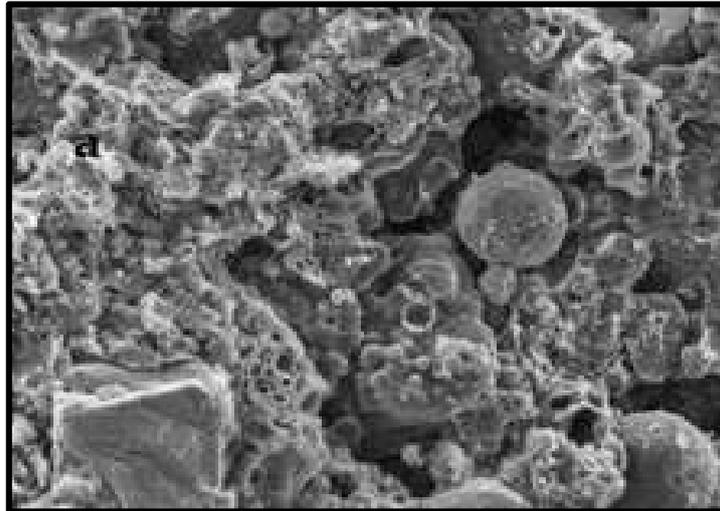


Figure II-17: Image microscopique du gel de géo-polymère.

(Source : fr.wikipedia.org)

Tableau II.1 : Les besoins énergétiques et émissions de CO<sub>2</sub> pour 1 tonne de ciment Portland et 1 tonne de ciment géo polymère.

<b>Besoins énergétiques (MJ/t)</b>	<b>Calcination</b>	<b>Broyage</b>	<b>Silicate sol</b>	<b>Total</b>	<b>Réduction</b>
<b>Ciment Portland classique</b>	4270	430	0	4700	0
<b>Ciment géo-polymère</b>	1950	390	375	2715	43%
<b>Émissions de CO<sub>2</sub> (t)</b>	<b>Calcination</b>	<b>Broyage</b>	<b>Silicate sol.</b>	<b>Total</b>	<b>Réduction</b>
<b>Ciment Portland classique</b>	1.000	0.020	0	1.020	0
<b>Ciment géo-polymère</b>	0.240	0.018	0.050	0.308	70%

Source: (M, Williams, P, Lay ET Corder, 2011)

### 2.1. Les besoins énergétiques pour la fabrication

En terme de besoins énergétiques le ciment Portland présentent un besoin moyens d'environ 4 700 MJ/t, rajoutant à cela que, les besoins en énergie utilisé dans la fabrication des ciments géo-polymères est inférieur à ceux du classique d'environ 59% à 43% dans le cas le moins favorable.

### 2.2. Les émissions de CO2 lors de la fabrication

Dans le cas le plus favorable (la disponibilité du laitier comme sous-produit ou déchet industriel) on obtient une réduction de 90 % des émissions de CO2 lors de la fabrication de ciment géo-polymère par comparaison avec le ciment Portland. Dans le cas le moins favorable (nécessité de fabrication du laitier) la réduction atteint 75 %.

## 3. Les Bétons Intelligent

Au regard de ses nombreuses qualités, le béton est l'un des matériaux de construction les plus répandus au monde depuis son apparition, en revanche c'est le matériau le plus polluant à l'environnement surtout dans sa phase de fabrication. Pour cela ce serai indispensable désormais d'utiliser des bétons moins polluants avec des caractéristique écologique tels que les bétons intelligents.

### 3.1. Les Bétons Photo-Photovoltaïque

Le béton photovoltaïque aussi appelé « DysCrete », est un béton capable de convertir les rayonnements solaires en courant électrique. Et pour la fabrication de ce matériau, les chercheurs ont utilisé le principe des cellules photovoltaïques à colorant (cellules Gratzel) qui contrefassent la photosynthèse végétale à l'aide de pigments photosensibles artificiels (équivalents de la chlorophylle). Ce matériau est constitué donc d'un béton conducteur, d'une couche d'oxyde de titane capturant l'énergie solaire, d'un colorant (actuellement du jus de groseille) jouant le rôle d'électrode de la réaction, et d'une couche très fine de graphite remplissant la fonctionnalité de la seconde électrode. Enfin, l'ensemble du système est soutenue par une couche supérieure transparente pour faire introduire les spectres solaires. [11]



Figure II-18: Prototype d'un béton photovoltaïque avec les cellules Gratzel.

(Source : lenergeek.com)

Ce béton conducteur peut également en temps actuelle, convertir 2% de l'énergie solaire captée par leur dispositif. Même si le chiffre est relativement faible en apparence mais par rapport aux surfaces entièrement couverte de béton sera en évidence, bien plus importantes que dans le cas des surfaces couvert par de panneaux photovoltaïques, en plus que le système réagit ainsi avec de la lumière diffusée dans l'atmosphère.

### 3.2. Les Bétons Auto-Cicatrisants

Les bétons auto-réparant comme leurs nom l'indique ce sont des bétons avec de même caractéristique physique et mécanique des bétons classique, mais notamment avec la capacité de cicatrisé ces propres fissures provoqués par autant de facteur externe (séisme, charge mécanique et les intempéries) qui menace en revanche la durabilité des édifices conçus a base de ce matériau. Du coup, les chercheurs ont développé ce béton grâce à une solution de Basilisk présenté sous la forme d'un additif mélangé avec la formulation de base du béton. Celle-ci elle se compose de particules qui contiennent des bactéries dormantes avec leurs nourritures (nutriments). Toutefois, lorsque des fissures se forment dans la surface du béton, il suffit que les bactéries soient en contact avec de l'humidité pour se réveiller. Ensuite elles vont consommer les nutriments présents dans la solution de Basilisk, afin de combler les fissures en 3 semaines. Peu importe leur longueur, mais pour une largeur allant jusqu'à 0,8 mm, en créant du calcaire. (V. Wiktor et M. Jonkers. 2011)

**A savoir :** Le produit développé dit « Basilisk » permet également de prolonger la durée de vie d'une construction en béton, ainsi de limité les risques d'infiltration d'eaux. Sans nocivité pour l'homme, les bactéries isolées dans la solution peuvent rester à l'état "dormant" durant près de 2 000 ans.

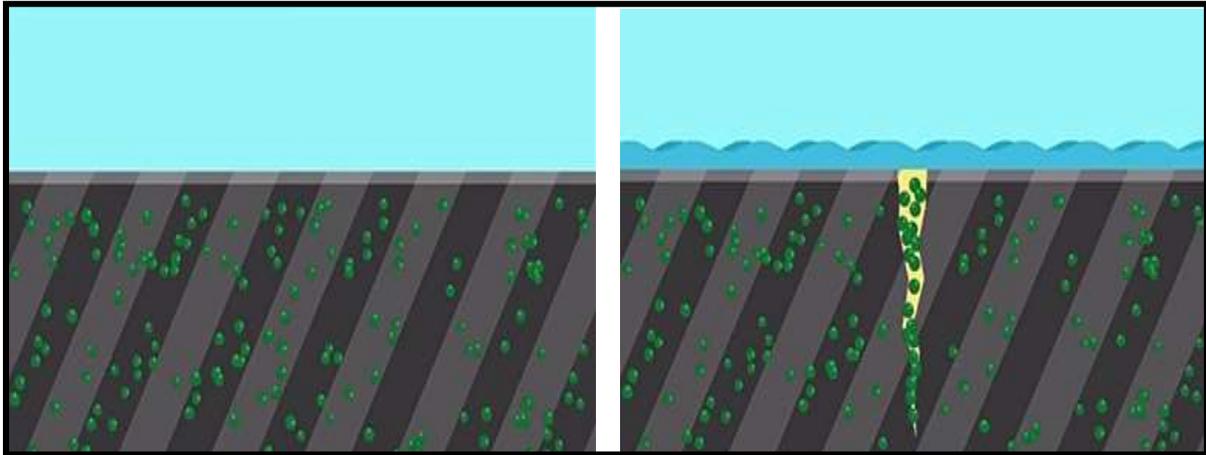


Figure II-19: Dessin représentatif des bactéries dans le béton auto-réparant avant et après la fissure. (Source : Auteur. 2021)

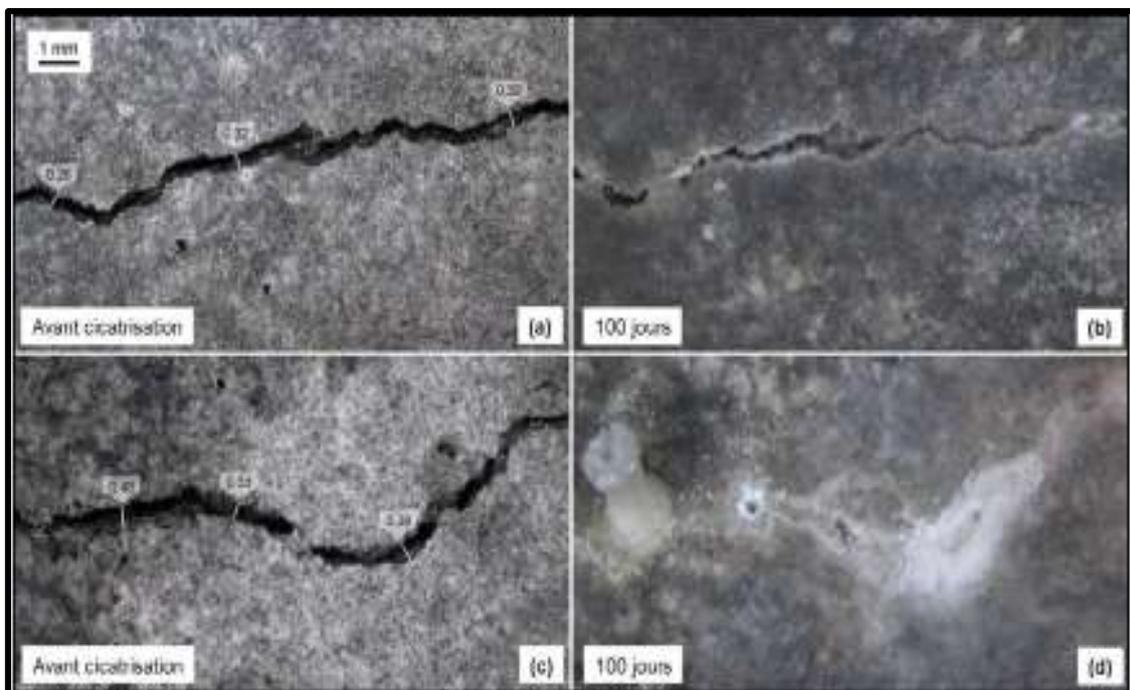


Figure II-20: Observation au stéréo microscope de la cicatrisation des fissures : (a) éprouvette témoin avant cicatrisation. (b) après 100 jours de cicatrisation. (c) éprouvette avec bactéries avant cicatrisation (d) après 100 jours de cicatrisation.

(Source : V. Wiktor et H. Jonkers. 2011)

### 3.3. Les Bétons Auto-Sensibles

Les bétons auto-sensibles sont des bétons à des normes classiques, capables de dissiper la chaleur et d'empêcher la formation de glace sur ses surfaces ainsi permettent de récupérer des informations sur l'état de la structure grâce à des fibres ou polymères spéciaux ajoutés à leur formulation de base afin d'augmenter leurs propriétés électriques ou thermiques. [12]

### 3.4. Les bétons auto-ajustables

Les bétons auto-ajustables ont l'attitude de réguler l'humidité et la température pour offrir d'avantage un confort aux utilisateurs dans les ouvrages architecturaux. Ainsi que ces derniers (Gratte-ciels, ponts, autoroutes ou d'autres) seront beaucoup plus résistants à un choc accidentelle ou à une charge naturelle exceptionnelle (vents et vagues de fortes ampleur ou tremblements de terre), grâce à l'injections de fibres de polypropylène qui pourrait encore améliorer la résistance au feu du matériau.

Par définition la fibre de polyoléfine est « une fibre synthétique formée d'un polymère synthétique à longue chaîne composé d'au moins 85% en masse d'éthylène, de propylène ou d'autres motifs oléfiniques. Les polyoléfines les plus connues sont à base de polypropylène et de polyéthylène. » (Hilton. 2015)

De plus, les avantages de ces fibres sont leur excellente résistance mécanique, leur confort, leur bonne résistance aux taches, à la moisissure, à l'abrasion et au soleil. (K, Sarja .2002)

### 3.5. Les Bétons Flexibles

Des chercheurs ont mis au point une variété de béton flexible appelée « ConFlexPave », qui est à la fois flexible, plus solide et plus durable que le béton traditionnel, qui est conçu à base du ciment, de l'eau, du gravier et du sable. Bien que ce mélange rend ce béton dur et résistant, mais il ne favorise pas la flexibilité outre que, ce béton typique est notamment fragile face aux grandes charges mécaniques qui provoquent à leurs tours des fissurations dans sa surface. Cependant le béton flexible, fabriqué avec une addition des microfibrilles de polymère dans les ingrédients de base offrent une possibilité au béton de de fléchir et de se plier sous

tension, ainsi que d'améliore également sa résistance au dérapage. Comme il a expliqué le Pr. Yang «Les matériaux durs offrent une texture de surface antidérapante, tandis que les microfibrilles, plus minces que la largeur d'un cheveu, répartissent la charge sur toute la dalle, ce qui donne un béton résistant comme le métal et au moins deux fois plus résistant que le béton traditionnel. Béton sous flexion ». Du coup cette innovation permet également la production de dalles de pavage préfabriquées minces et plus résistantes, avec une vitesse d'installation supérieure à l'ordinaire. De plus elle pourra être utilisée dans des projets d'infrastructure, toute en réduisant de moitié le temps nécessaire pour les travaux routiers et les nouvelles chaussées, avec moins de nécessité d'entretien. (A. Moussa.2021)



Figure II-21: Un prototype d'un béton flexible. [13]

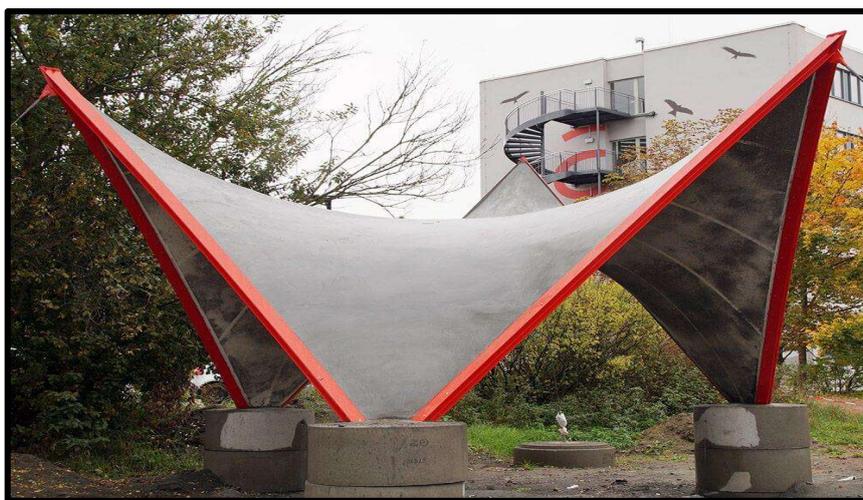


Figure II-22: Une dalle réalisée avec du béton flexible. [13]

### 3.6. Les Bétons Photo-catalytiques

Les bétons photo-catalytiques grâce à un principe de la photo-catalyse, qui est un phénomène naturel dans lequel une substance, appelée photo-catalyseur (le dioxyde de titane «  $\text{TiO}_2$  »), initie une réaction chimique sous l'action de la lumière, contacte avec l'eau ou l'air, ont la possibilité d'engendrer la formation de molécules très réactives, capables de décomposer par oxydo-réduction certaines substances organiques et inorganiques (mousses, lichens, moisissures...) présentes dans son entourage, ainsi de conserver la propreté de sa surface plus longtemps, aux contraire des bétons conventionnels qui nécessite un entretien continue. Ces types des bétons offrent une solution particulièrement adaptée pour maîtriser le prolongement esthétique des parements architectoniques et permettent aussi de réduire les impacts de la pollution atmosphérique en éliminant les molécules de polluants. [14]

Le photo-catalyseur sous l'action des ultraviolets peut aussi altérer les polluants atmosphériques gazeux présents dans l'air par exemple, les composés organiques volatils (COV) sont transformés en eau et gaz carbonique, et les oxydes d'azote sont décomposés en sel de nitrate de calcium.

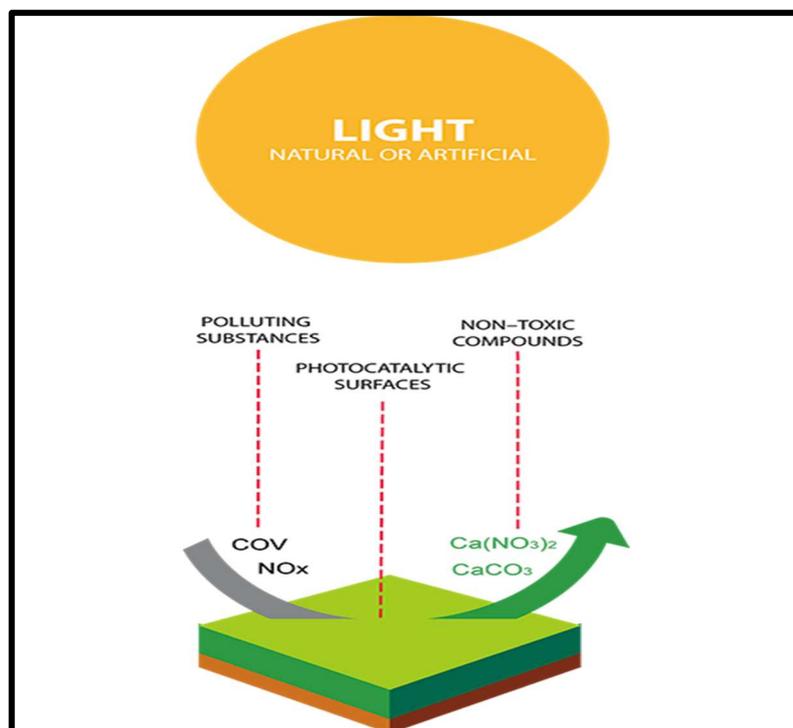


Figure II-23: Schémas de la procédure de purification dans le béton autonettoyant.

(Source : neoformula.eu)

### 3.7. Les Bétons Translucides

Le béton translucide a été inventé en 2001 par un architecte hongrois nommé « Aron Losoncz », qui est un matériau de construction en béton ayant la propriété de transmettre la lumière due à des éléments optiques intégrés traversant l'ensemble de matériau (des fibres optiques de 2 micromètres à 2 mm de diamètre) qui sont invisibles à l'œil mais parfaitement alignées parallèlement les unes aux autres. Ce que signifie donc, que la lumière (naturelle ou artificielle) est conduite à travers ce béton depuis une extrémité vers l'autre en créant dans le béton un effet de jeu d'ombres et de lumière. En outre, le béton translucide se présente sous forme de panneaux préfabriqués avec de tailles et de formes différentes, mais aussi sous forme de blocs de construction comme des briques. (A. Roye, M. Barlé et G. Thomas. 2009)

**NB :** la fibre optique est un câble qui contient un fil en verre ou en plastique capable de conduire la lumière. [15]

#### 3.7.1. Les utilisations du béton translucide

Le béton relativement transparent est utilisé généralement dans l'architecture fine et dans les projets d'art comme un matériau de façade, en parement des murs intérieurs, en escalier, en garde-corps, ainsi comme éléments décoratifs.

#### 3.7.2. Les Avantages du béton translucide

- Le béton translucide bénéficie de tous les atouts du béton traditionnel.
- Durable, résistant aux chocs.
- Résistant au feu, aux insectes et aux champignons.
- Résistant aux agressions climatiques (pluie, gel, soleil).
- Une bonne inertie thermique.
- Un matériau recyclable.



Figure II-24: Jeu d'ombre et de lumière à travers le béton translucide.

(Source : bybeton.fr)

## 4. Les Vitrages Intelligents

### 4.1 Le Vitrage photovoltaïque

Les vitrages photovoltaïques sont des matières et des dispositifs utilisant des panneaux de verre dit photovoltaïque (peuvent être plus ou moins transparents ou colorés). Ils fonctionnent grâce à la cellule photovoltaïque translucide, qui a la capacité d'absorbé certains rayons du soleil (lumière et infrarouge) et les redirige vers les bords du vitrage pour être transformés en électricité. Ce qui signifie que ces types de verre permettent également de produire d'énergie électrique à partir d'une partie du spectre visible ou non visible de la lumière solaire. De plus, Ils prennent généralement la forme d'une grande plaque de verre qui peut actuellement produire entre 10 et 90 watts par mètre carré. [16]

#### 4.1.1. Installation des vitrages photovoltaïques

De manière générale, toutes les surfaces vitrées d'une bâtisse peuvent potentiellement accueillir des vitrages photovoltaïques. Cependant, il est recommandé de privilégier des espaces bien exposés par rapport à la trajectoire solaire et de taille importante pour permettre une production d'électricité maximale. En revanche l'emplacement de ces vitrages sur de petite fenêtre qui reçoit peu de lumière, le résultat serai quasiment inexistant en terme de production

de l'électricité. De plus, contrairement aux vitrages classiques, les vitrages photovoltaïques ne peuvent être entièrement transparents, du coup sont légèrement colorés (décorés) avec un degré de transparence de 10 à 30%. Pour cette cause les vitrages solaires sont privilégiés pour être posés sur des espaces vitrés moins voyants afin de ne pas gâcher l'aspect esthétique sur les façades. [17]

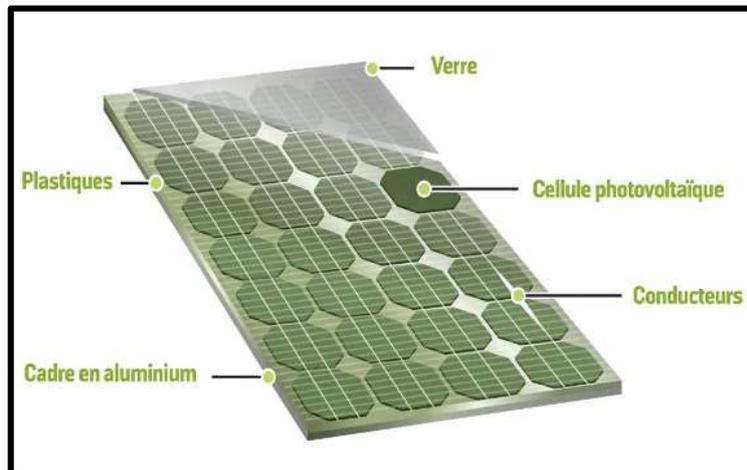


Figure II-25: Les composants d'une vitre photovoltaïque.

(Source : ineris.fr)

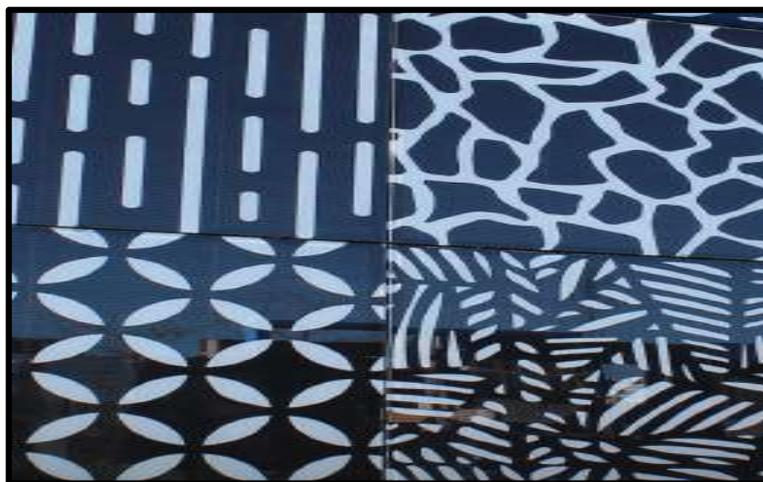


Figure II-26: Des vitrages photovoltaïques décorés.

(Source : archiexpo.fr)

#### 4.2. Les Vitrages opacifiants

Les vitrages opacifiants sont des vitrages qui laissent passer la lumière, mais ont également la propriété de devenir opaque d'un simple geste de commandement, pour se protéger de la vue depuis l'extérieur durant tout le temps nécessaire. Ces vitrages sont composés de deux feuilles de verre entre lesquelles est inséré un film des cristaux liquides qui sont les responsables

de l'opacification du vitrage. En plus ils offrent les mêmes propriétés d'isolation thermique, acoustique et de solidité an-effraction que n'importe quel double vitrage classique. Cependant ces vitrages deviennent donc une vitre de double fonction. De plus, il sera plus nécessaire de mettre de stores ou de rideaux pour se protéger des vis-à-vis extérieur indiscrets. [18]

#### 4.2.1. Fonctionnement

Les vitrages sont reliés à un interrupteur via un transformateur. En fermant le circuit, un faible champ électrique stimule l'alignement des cristaux liquides qui laisse le vitrage dans son état initial, alors transparent. Tandis que, lorsque le courant électrique est interrompu les cristaux liquides perdent leur alignement et que le verre redevienne opaque tout en restant translucide. Dans ce cas, il reste toujours perméable à la lumière, mais empêche de distinguer les objets. Ce système permet donc de garantir instantanément la transparence ou l'intimité des locaux. Cependant, le vitrage peut aussi servir d'écran de projection pendant sa transformation. [19]

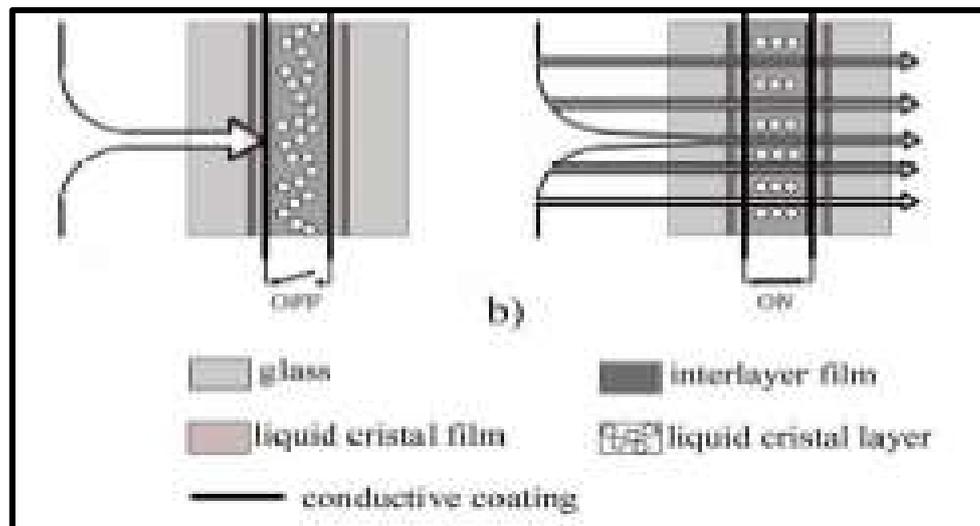


Figure II- 27: Schéma montre le comportement des particules dans le vitrage opacifiant avant et après l'alimentation en courant.

(Source : S. Jerzy, 2020)

**NB :** l'utilisation de ces vitrages est économique grâce à une faible consommation électrique (environ  $5W/m^2$ ) ainsi ils ne demandent aucun entretien spécifique. Enfin, il offre les mêmes propriétés d'isolation thermique et acoustique et de solidité an-effraction que n'importe quel double vitrage classique.

### 4.2.2. Les utilisations des verres opacifiant

Les installations des vitrages opacifiants sont également possible pour un nombre infini d'ouvrage tels que, dans les habitations (baies vitrées, fenêtres, verrières...), les bureaux (salle de réunion, cloisons séparatives, façades, portes...), les cabinets médicaux (salle d'attente, salles de soin), les centre commerciaux, les chambres d'hôtel et autres.



Figure II-28: Une image d'un vitrage opacifiant avant et après la transformation.

(Source : guidefenetre.com)

### 4.3. Les vitrages autonettoyants

Les vitrages autonettoyants sont des verres traités en surface qui utilisent la double action des éléments naturels (soleil et pluie) pour les mettre au service de l'entretien des vitres, afin de les garder dans un état de propreté optimum et durable. Cependant, ce type de vitrage est composé d'un verre extra-clair ou teinté sur lequel est déposée une couche transparente très fine d'un matériau minéral photo-catalytique. Ainsi que les propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques de ces verres sont identiques à celles d'un vitrage classique avec le même degré de transparence. Par ailleurs, le verre autonettoyant existe notamment en double vitrage, à isolation thermique et acoustique renforcée. (Marie-Caroline, 2011)

### 4.3.1. Les principes des vitrages autonettoyants

- La photo-catalyse consiste à décomposer les matières organiques qui reposent sur la vitre par la lumière du soleil.
- L'hydrophile a pour effet de filmer l'eau qui entre en contact avec lui afin de l'empêcher d'être constitué en forme de gouttes (comme c'est le cas avec du verre classique) pour garantir les panoramas au moment des pluies. Cependant la pluie lave ces vitrages au lieu de laisser des traces, parce que le film glisse vers le bas, comme tout corps soumis à la gravité.

### 4.3.2. Les avantages

- Gain de temps assuré et une réduction considérablement de l'entretien des vitrages.
- Réduction des frais d'entretien et de maintenance.
- Environnement préservé grâce à la limitation dans l'utilisation des produits détergents.
- Vision claire par temps de pluie grâce à la fonction hydrophile.

**NB :** La photo-catalyse ne fonctionne qu'avec la lumière du jour, cela ne fonctionne donc que sur des vitres exposées à la lumière solaire. Ainsi que le verre autonettoyant débarrasse des saletés organiques mais pas minérales. En fin dans l'absence prolongée de pluie, il est obligé de projeter de l'eau sur ce type de vitre afin de la dégager des impuretés.



Figure II-29: La différence entre un vitrage classique et autonettoyant après 6 mois sans nettoyage. [20]

#### 4.4. Les vitrages thermo-chromes

Le vitrage thermo-chrome est un vitrage intelligent, qui présente une protection solaire intéressante dans les bâtiments pour offrir un confort aux occupants non seulement, thermique mais aussi visuelle, grâce à l'effet thermo-chrome qui sollicite le passage réversible dans les vitrages d'un état transparent vers un état plutôt sombre ou réfléchissant, d'une manière automatique ou sous commandement au-delà d'une certaine température. En outre, le vitrage thermo-chrome est composé de deux plaques de verre (double vitrage) avec une couche quasiment invisible à l'œil nu, de dioxyde de vanadium ou d'un film de cristaux liquides entre les deux vitres ou sur l'une d'entre elles. Puis lorsqu'il réagit à l'augmentation de température, il s'assombrit et réduit l'entrée de lumière et de chaleur solaires à l'intérieur de la pièce équipée, constituant une véritable barrière aux rayons infrarouges contrairement à un vitrage classique. Cependant la vitre thermo-chrome est une solution à la fois écologique respectueuse de l'environnement et performante. (H. Zeroub, M. Larbi.2020)

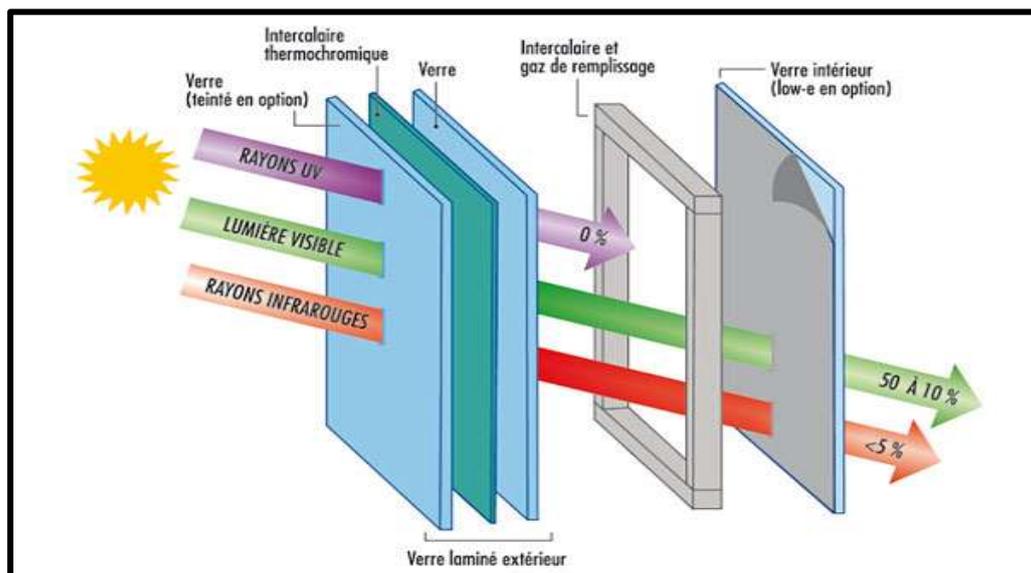


Figure II-30: Schémas des compositions des vitrages thermo-chromes.

(Source : docplayer.fr)

**NB** : les vitrages thermo-chromes devenaient pratiquement opaques lorsque la température extérieure atteint les 40°C, aussi que ce type de vitrages ne réduisent pas la visibilité depuis l'intérieur vers l'extérieur pour autant, mais protègent efficacement contre la chaleur.

#### 4.4.1. Les avantages des vitrages thermo-chromes

- Excellente protection contre le rayonnement solaire et les infrarouges.
- Maîtrise de la température intérieure en été comme en hiver.
- Maîtrise de la consommation d'énergie.
- Plus besoin des brises solaires.

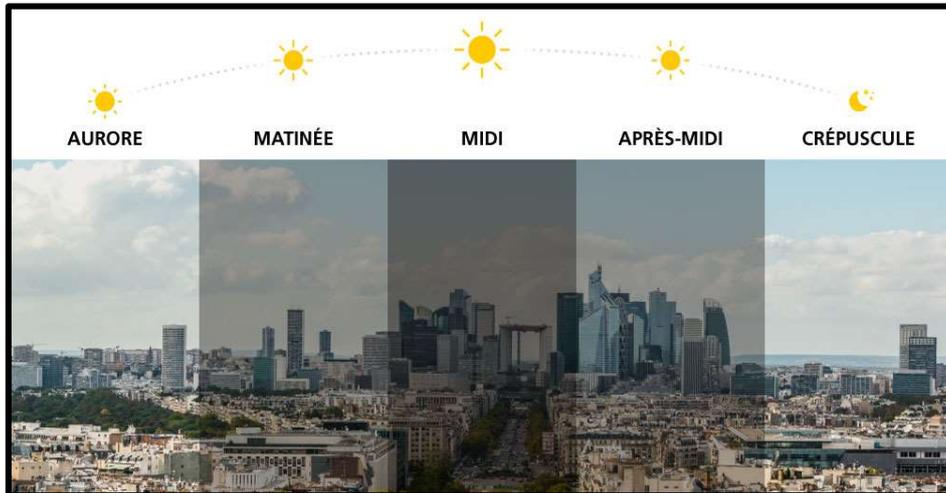


Figure II-31: L'opacification du vitrage pendant la journée.

(Source : verre-menuiserie.com)

### II.3. Autres Matériaux Intelligents

#### II.3.1. Le Bois Transparent

Le bois transparent comme son nom l'indique, est un matériau de construction développé à partir de bois dit « Douglas », qui laisse passer la lumière avec également une protection contre les vis-à-vis indiscret. Grâce à une procédure de chimie verte, la lignine est pu remplacer par un polymère bio-source, afin de rendre ce bois transparent à la lumière et encore imputrescible par les champignons et l'humidité, avec la conservation de toutes autres structures responsable de la résistance mécanique de ce dernier. En revanche ce système développé est au même temps une sorte de voile qui empêche 93 % de la lumière de filer en sens contraire, de quoi opacifier la construction. [21]

**NB :** La lignine est une biomolécule, une famille de macromolécules polymères poly phénoliques qui est un des principaux composants du bois avec la cellulose et l'hémicellulose. (Martone, P. Estevez, F. Ruel. 2009)

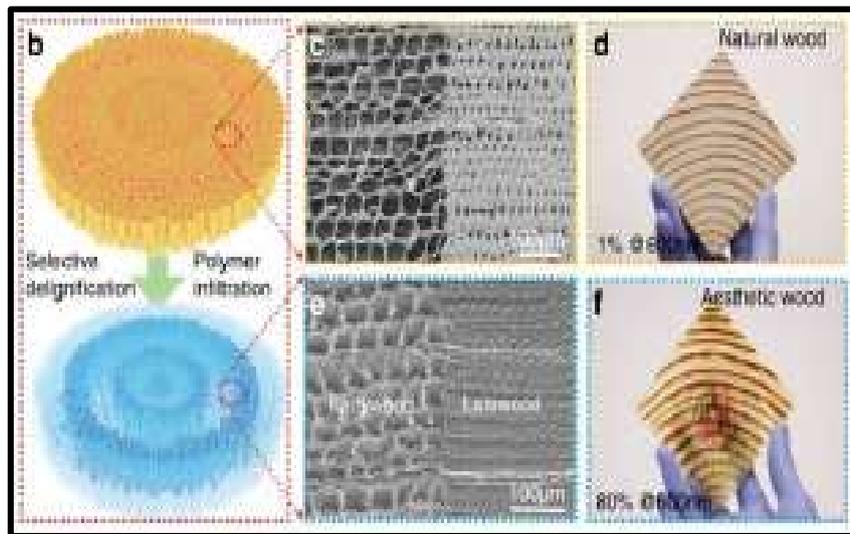


Figure II-32: Le bois esthétique développé produit à partir de bois naturel ayant subi une délignification sélective et une injection d'époxy (b). Les images (c) et (d) montrent une coupe d'un bois naturel. (e) et (f) sont des images similaires d'un bois transparent.

(Source : futura-sciences.com)

### II.3.1.1. Les avantages du bois transparent

- Un matériau écologique et recyclable.
- Résistance au feu.
- Capable de bloquer les UV.
- Capable de stocker la chaleur et de la restituer.

### II.3.2. Les Produits A Changement De Phase

Les produits à changement de phase sont des matériaux de constructions qui ont en mesure d'assurer une gestion active de la température. Ils maintiennent également la température de l'air dans les espaces d'habitation à une valeur pratiquement constante pendant la durée du changement de phase de cette dernière. Cependant les pics de chaleur sont absorbés pendant la journée et évacués sans coût, grâce à la fraîcheur nocturne. Du plus l'avantage des produits à changement de phase réside dans le fait qu'avec une faible quantité de volume et de poids, suffit largement pour conférer aux matériaux un pouvoir de stockage une chaleur très élevé. Du coup les matériaux de construction courants peuvent deviendrait ainsi des composants fonctionnels dans l'ensemble du bâtiment. (L. Stan, 2006)

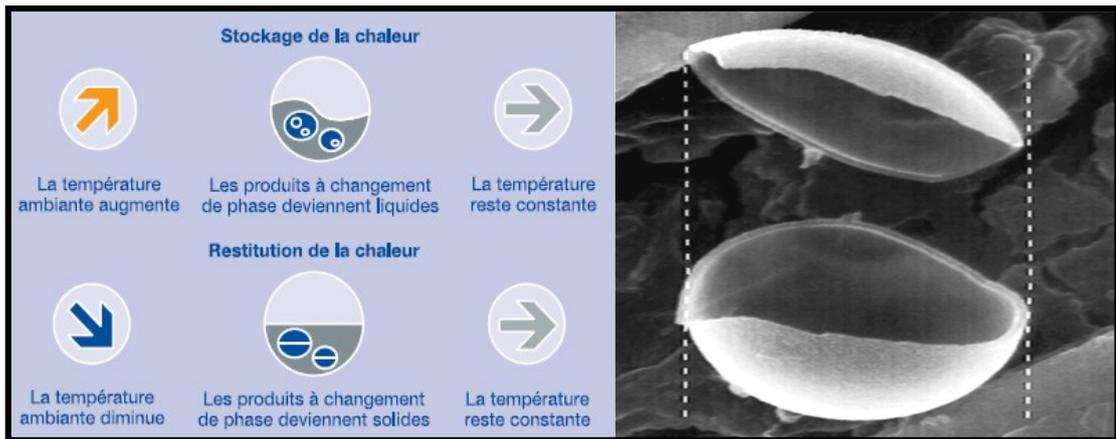


Figure II-33: Le principe de fonctionnement des produits à changement de phase à base des capsules en polymère cire. (Source : basf.de/dispersionen.fr)

### II.3.2.1. Le principe de fonctionnement

De microscopiques sphères de polymère contiennent dans leur cœur une cire. Sous l'effet de la chaleur ou du froid, la cire fond ou se solidifie dans les microcapsules afin d'absorber la chaleur lorsque la température augmente et la restituer lorsque se diminue pour neutraliser les pics de température et d'assurer une température plus régulière dans la pièce d'habitation. Cette chaleur accumulée et dissimulée dans le changement de phase est aussi appelée « chaleur latente ». (L. Stan, 2006)

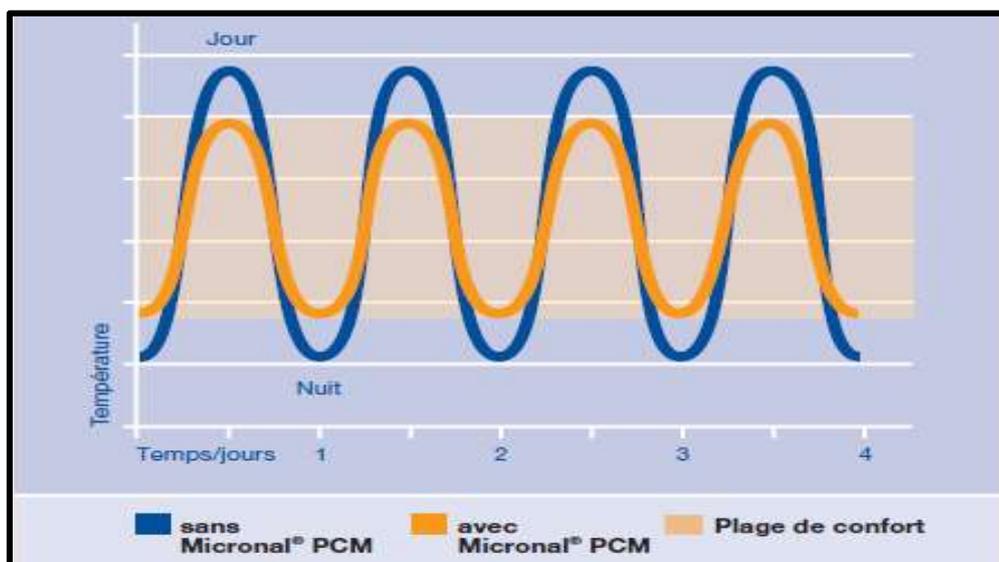


Figure II-34: Température optimisée dans la pièce.  
(Source : basf.de/dispersionen.fr)

**Remarque :** Les produits à changement de phase sont indestructibles, inertes et non toxiques, ainsi ils sont disponibles sous forme liquide ou poudre.

Le produit à changement de phase propose une solution optimale pour les constructions légères. Cependant chaque  $1\text{m}^2$  de ce produit en panneau innovant renferme 3Kg de microcapsules ce qui permet, à un matériau de ce type d'assurer de manière active un climat agréable dans la pièce. Du coup, la capacité de stockage de chaleur de ces panneaux de 1,5 cm d'épaisseur est comparable à celle d'un mur en béton de 9 cm ou d'un mur en briques de 12 cm d'épaisseur. (L. Stan. 2006)

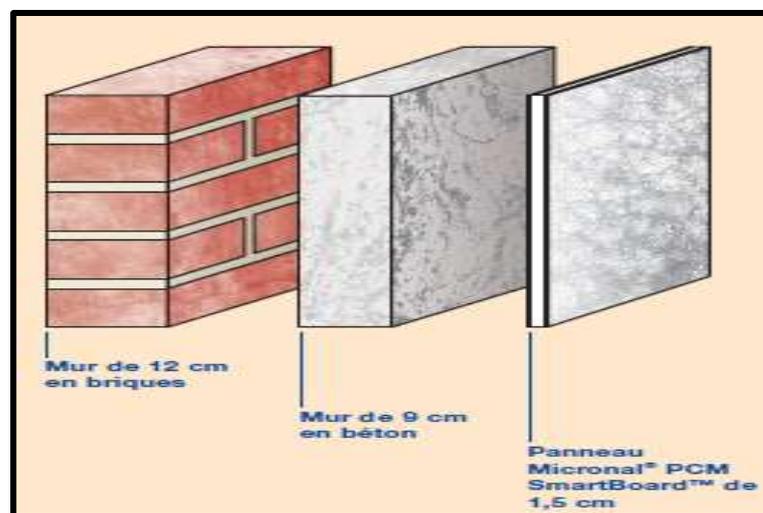


Figure II-35: Comparaison des capacités d'accumulation.

(Source : micronal.de)

### II.3.2.2. Les atouts des produits à changement de phase

- Léger et facile à mise en œuvre.
- Pas d'encombrement supplémentaire.
- Réduire ou supprimer la consommation d'énergie.
- Augmente la valeur du bâtiment.
- Longue durée de vie.

Tableau II.2 : La comparaison entre un produit de changement de phase avec un matériau sans le produit à changement de phase.

Paramètre	Plaque de produit a changement de phase	Plaque sans produit de changement de phase (platre)
Température de changement de phase	23-26 °C	-
Capacité de chaleur latente $\Delta H$	env. 330 kJ/m <sup>2</sup>	0 kJ/m <sup>2</sup>
Capacité calorifique spécifique	env. 1,20 kJ/kgK	env. 0,85 kJ/kgK
Conductivité thermique $\lambda$	env. 0,134 W/mK	env. 0,19 W/mK

Source : Laurence.le-stum@basf.com

### II.3.3. La Brique Intelligente

La brique intelligente est une brique de terre crue conçue avec des produits de dernière génération pour réguler de manière naturelle la température d'un édifice. Cependant le processus de fabrication de cette brique est basé sur l'intégration des géo-polymères avec des éléments 100% naturel (elle ne nécessite que peu d'énergie par rapport aux briques classiques, ce qui signifie que son énergie grise est limitée) ce qui la rend idéale pour régler les problèmes de température et d'humidité dans les espaces internes d'une demeure, par l'absorption de la chaleur en été et le froid en hiver afin d'arriver à une température plus stable quel que soit le temps à l'extérieur, de manière à régulariser le confort sans augmenter la facture énergétique. [22]

#### II.3.3.1. Les utilisations de la brique intelligente

Les briques peuvent être également utilisées pour réaliser des murs ou des cloisons dans de nombreux types de bâtiments et de constructions (même passifs). Ou bien être quasiment à la place de la brique traditionnelle.

### II.3.3.2. Les atouts de la brique intelligente

- Faible énergie grise.
- Grande capacité d'hygro-régulation.
- Confort phonique.
- Résistant à l'eau et au gel.
- Hautes densité et résistance mécanique.
- Grande stabilité dimensionnelle.
- Fondamentalement sain et durable.



Figure II-36: « Argio », la brique intelligente.

(Source : consoglobe.com)

### II.3.4. Le Plâtre Antichoc, Antipollution Et Antibruit

Ce nouveau type de plâtre est un plâtre conçu à base de gypse et renforcé également avec des fibres de bois ainsi d'autres composants qui est 4 fois plus résistant qu'une plaque de plâtre traditionnel. Du coup ce produit vise tout à la fois a augmenté la résistance au choc des murs et des cloisons, a limité les bruits dans les espaces habitables les plus sensibles en moins de 50%, ainsi de purifier l'air a respiré grâce à un composant spécifique, incorporé à environ de 0,2% dans l'ensemble de ses composantes qui capte 80% des unités organiques volatils (COV) et les transforme en composés inertes. [23]

### II.3.4.1. Les utilisations de ce type de plâtre

Les plaques de plâtre antichoc, antipollution et antibruit destinent prioritairement aux établissements scolaires et pour les cloisons et les murs des chambres d'enfant. Ainsi que ce matériau est particulièrement intéressant pour les chantiers inscrits dans une démarche HQE.



Figure II-37: Une plaque de plâtre antichoc, antipollution et antibruit.  
(Source : vertou.lamaisondestravaux.com)

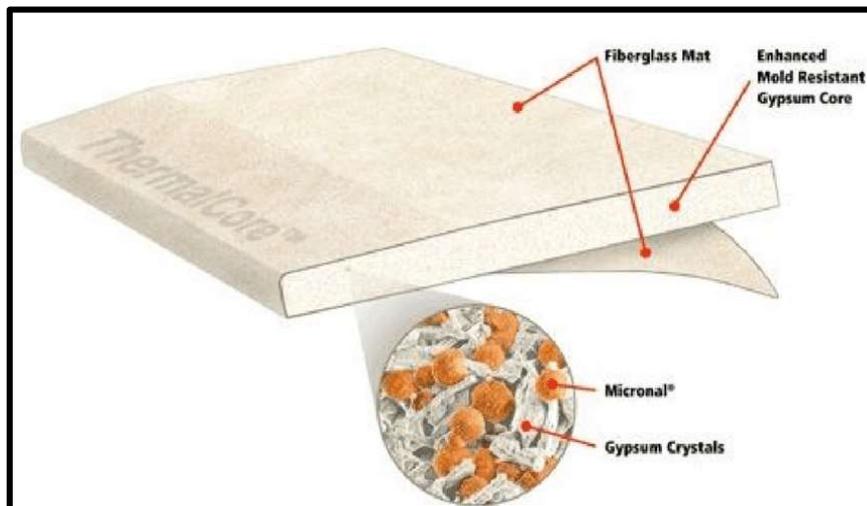


Figure II-38: Les composants d'un plâtre antichoc, antipollution et antibruit.  
(Source : lemoniteur.fr)

## II.4. Les Peintures Intelligentes

De nos jours, les fonctions des peintures se déclinent, du coup elles vont plus loin que l'aspect décoratif puisque il existe des peintures révolutionnaire de haut performance qui

protègent contre les allergies et des insectes, qui régulent la température intérieure et même l'humidité pour le confort des occupants et permettent de réaliser des économies d'énergie.

#### **II.4.1. La Peinture De Régulation d'humidité**

Généralement, pour dire qu'un espace dans une habitation est sain, ce dernier doit présenter un taux d'humidité compris entre 40% et 50%. En revanche, si c'est été le contraire cela signifie que cette espace souffre d'humidité qui se répercute ensuite sur l'ensemble des pièces de la bâtisse. Cependant il existe une peinture qui a la possibilité de régulier le taux d'humidité dans un espace, et même de détruire les odeurs liées à l'accumulation du froid avec des réactions chimique, grâce à une technologie nanométrique introduite dans les composants de la peinture. [24]

##### **II.4.1.1. Les avantages d'appliquer de la peinture**

- Évite des travaux d'isolation à moyen long terme. Ainsi que cette peinture va chasser l'humidité de l'air en totale autonomie.
- Évolue la qualité de l'espace, et le rend sain et doux quel que soit la période de l'année.
- Réalise des économies d'énergies.

##### **II.4.1.2. L'utilisation de la peinture**

Cette peinture sera idéale pour de nombreux travaux de rénovation, ainsi les différentes pièces humides dans une bâtisse. Comme les salles de bains qui sont le plus souvent les pièces qui souffrent le plus d'humidité. De même dans les chambres qui obligent d'avoir un air doux, sain et convenable parce qu'ils sont les lieux où l'homme passe beaucoup de temps (de 8 à 10 heures par jour). Et bien que dans les différents lieux pour une densité élevée de personne à la fois, il sera donc nécessaire d'obtenir un air sain et frais.

### II.4.2 La peinture thermo-chromique

La peinture thermo-chromique est une des revêtements des murs qui a la capacité de se permuer instantanément et de manière réversible, entre de différentes couleurs selon la température de son entourage. Grace à des pigments intelligents développés (cristaux liquides) introduit là dans, qui ont la capacité de changer de couleur en fonction de la température, de la lumière mais aussi de la pression. Sans avoir intégrer, ni des capteurs, ni d'électronique mais que de la peinture. Qui permet également d'ouvrir le champ de son application à l'infini. Cependant lorsque la température se situe en dessous de 25°C, cette dernière maintienne sa couleur son opacité d'origine. Mais lorsque cette température dépasse les 25°C, elle devienne progressivement transparente faisant ainsi apparaître la couleur du support qu'elle recouvre. De plus elle atteint un aspect totalement transparent autour de 60°C selon sa composition. Tout cela afin de stocker au dissiper la chaleur pour participer dans la stabilisation de cette dernière et même créer une ambiance active à l'intérieur de l'espace, ainsi d'obtenir un confort non seulement thermique mais également visuel. [25]

**NB** : La thermo-chromique n'aime pas les hautes températures et peut être irréversiblement endommagée au-delà de 70°C. Elle ne supporte pas non plus les longues expositions aux UV.

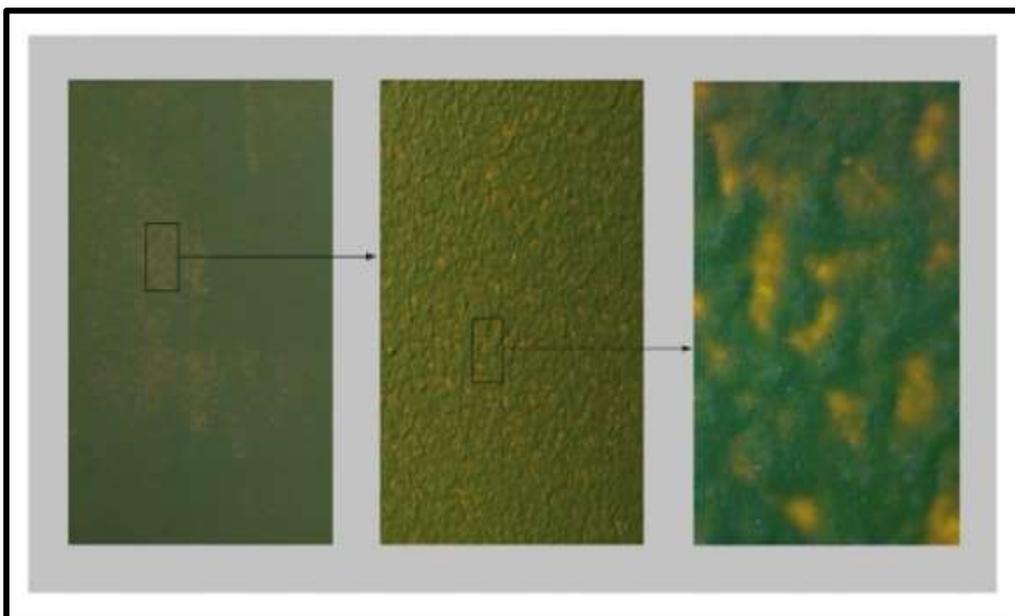


Figure II-39: Tableau de peinture thermo-chromique change de couleur.

(Source : [journais.openedition.org](http://journais.openedition.org))

### **II.4.2.1 Le fond utilisé pour la pose de la peinture thermo-chromique**

Il est important que l'arrière-plan de la peinture thermo-chromique ait une couleur claire telle que, le blanc, le jaune et le vert clair ainsi d'être poncé et propre comme tous les types de peinture classique. Car la peinture du fond sera la couleur qui apparaîtra, lorsque la peinture thermo-chromique deviendra transparente. Dans tous les cas, la couleur en fond ne devra pas être plus intense ou plus foncé que celle de thermo-chromique.

### **II.4.3. La peinture acoustique**

La peinture acoustique c'est une peinture qui joue à la fois le rôle d'un revêtement classique et particulièrement un isolant phonique sur les murs. Pour concevoir la peinture anti-bruit, les chercheurs se sont inspirés de la neige, et sa capacité naturelle à réduire le son grâce aux micro-poches d'air qu'elle contient et qui absorbent les ondes sonores. Toutefois la peinture anti-bruit est une peinture acrylique, c'est-à-dire avec une base humide, qui contient des microbilles de verres et de microsphères de céramique qui forment une barrière phonique en gardant de l'air, ce qui évite aux sons de passer à travers. Cependant, la peinture anti-bruit serait capable d'éviter les échos et réduire les sons de 3 à 15 décibels pour l'oreille humaine (plus la couche est épaisse, l'insonorisation est meilleure) cela équivaut à un bruit réduit d'environ 30 à 50 %. Aussi que cette peinture phonique est lavable et peu odorante, ce qui est une caractéristique importante. En plus, elle offre une protection thermique avec la limitation des déperditions de chaleur pour réduire la facture du chauffage. [26]

**NB :** Pour obtenir le meilleur résultat possible, la peinture insonorisant doit être utilisé pour les bruits de moyenne fréquence. Mais au-delà de la moyenne elle sera probablement inutile.

#### **II.4.3.1. Les atouts de la peinture acoustique**

- La peinture est non toxique et respectueuse à l'environnement.
- Entretien facile.
- Diminue les bruit jusqu'à les 50%.
- Dans le cas d'une couche épaisse ; la peinture peut agir comme un grand isolant thermique.

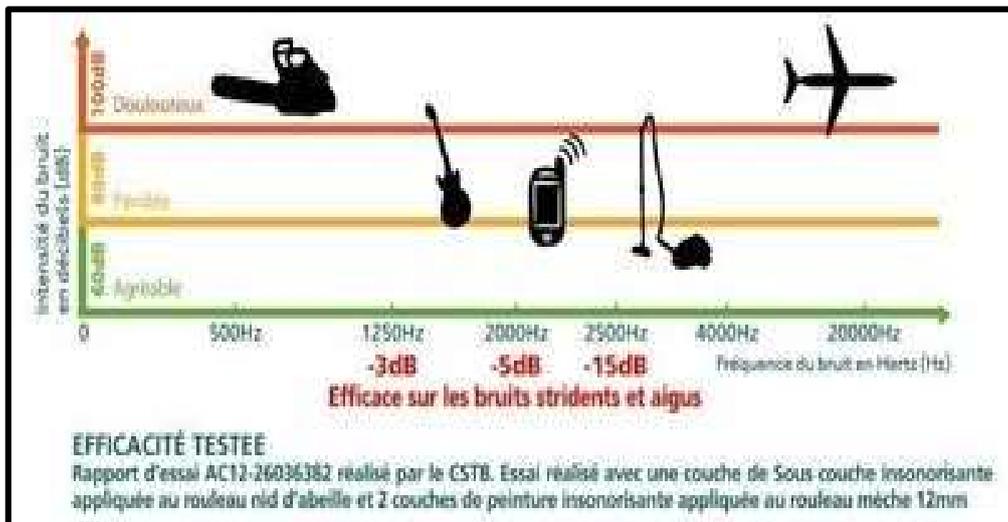


Figure II-40: Rapport d'essai réalisé avec une couche insonorisation.

(Source : cotemaison.fr)

#### II.4.6. La Peinture Dépolluante

La peinture dépolluante d'apparence proche de la peinture à l'eau classique, elle est capable de capter et détruire les polluants retrouvant dans les intérieurs d'habitation, à titre des produits d'entretien, combustion, textile ménager et autre. Cependant autant de facteurs pouvant dégager des substances nocives dans le logement, au quotidien, et provoquer des irritations, des allergies ou encore des troubles respiratoires. Grâce a un dispositif moléculaire spécifique introduit dans sa composition, 80% des polluants sont détruits et transformés en molécules saines afin d'offrir une qualité agréable de l'air. Ainsi que l'efficacité de cette peinture est visible dès la première application jusqu'à une durée de vie de 6 à 7 ans. [27]

##### II.4.6.1. Les utilisations de la peinture dépolluante

Cette peinture intelligente peut être appliquée, par exemple, dans les chambres, la cuisine ou encore les toilettes. D'une manière plus générale, sa présence est tout indiquée dans des lieux fréquentés par des publics sensibles comme les hôpitaux, les crèches ou les écoles.

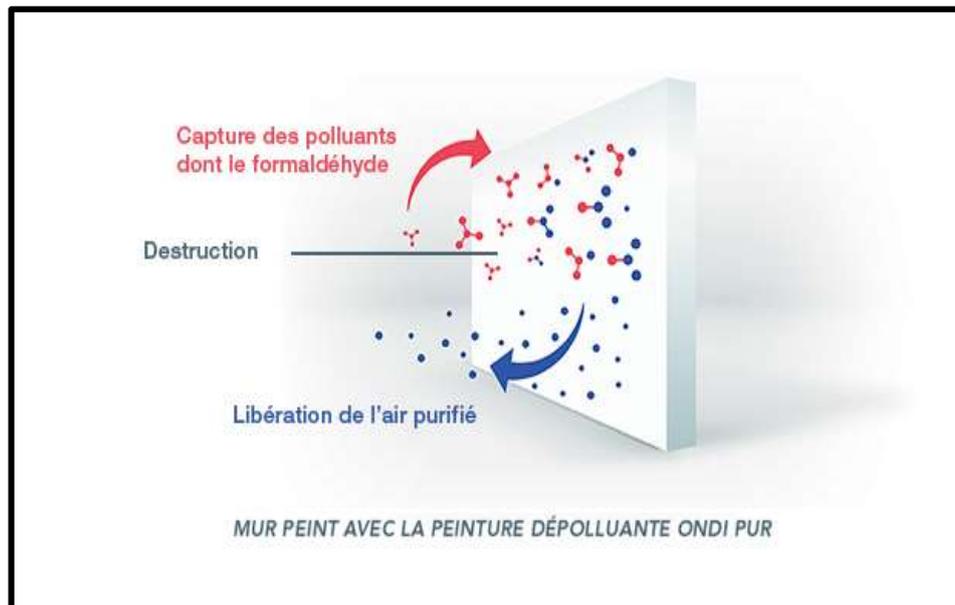


Figure II-41: Schémas explicatif de la procédure d'élimination des polluants par la peinture.

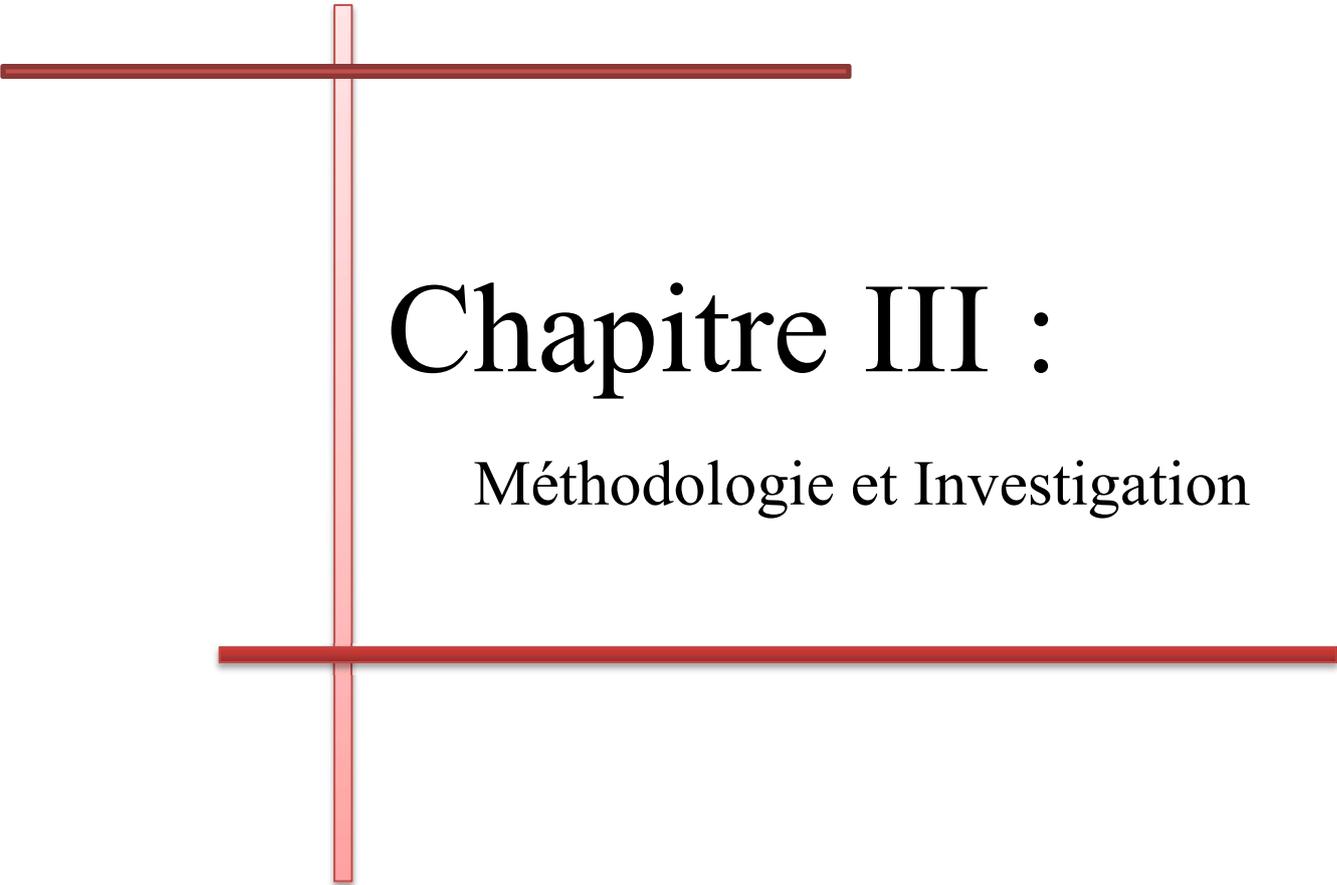
(Source : decoenligne.net)

## Conclusion

Les matériaux de construction sont à la fois l'image d'un bâtiment et la base constituant sa peau qui le protège de l'extérieur. Dans ce chapitre, la lumière a été focalisée sur les typologies des matériaux révolutionnaires appelés également « matériaux intelligents ».

Grace à leurs caractéristiques spéciales, les matériaux intelligents apportèrent au projet une dimension écologique et d'innombrables avantages, tant techniques qu'esthétiques. Cependant, il existe des matériaux qui peuvent servir comme étant des générateurs d'énergie dans les bâtiments (béton photovoltaïque, vitrage photovoltaïque...), tandis que d'autres servent à limiter l'utilisation des produits chimiques dans l'entretien (béton photo-catalytique, vitrage autonettoyant, peinture dépolluantes...), et augmenter la performance de l'enveloppe face aux stimuli externes (vitrage opacifiant, vitrage thermo-chrome, bois translucide...). Du coup, l'ensemble de ces matières consiste également à réduire le bilan énergétique consommé dans les bâtiments et renforcer notamment l'exploitation des apports naturels par ces derniers.

En définitive, la série de matériaux présentés dans ce chapitre est parfaitement compatible pour être introduit avec la démarche bioclimatique dans la conception architecturale.



# Chapitre III :

Méthodologie et Investigation

## Introduction

Ce chapitre s'intéresse à présenter la méthodologie suivie dans la partie pratique de ce travail ainsi de présenter l'investigation et les mesures effectuées au sein du cas d'étude (hôtel), afin d'évaluer le comportement thermique et énergétique des espaces intérieurs de cet hôtel situé à Bejaia, et estimer l'effet des matériaux de bio sources « écologique » sur le confort thermique intérieur, et de manière globale sur la consommation énergétique durant une période d'année.

## I. La présentation de la ville de Bejaia

### I.1. Situation et limite

La wilaya de Bejaia est située au nord-est du pays, dans la région de la Kabylie sur sa côte méditerranéenne. Elle est sectionnée administrativement en 52 communes et 19 daïras. La wilaya de Bejaïa a une superficie de 3 268 km<sup>2</sup>, délimitée à l'ouest par les wilayas de Tizi-Ouzou et Bouira et au sud par les wilayas de Bouira et Bordj-Bou-Argeridj ensuite à l'est par les wilayas de Sétif et Jijel, enfin par la mer Méditerranée au nord. (Letiet M. 2019)

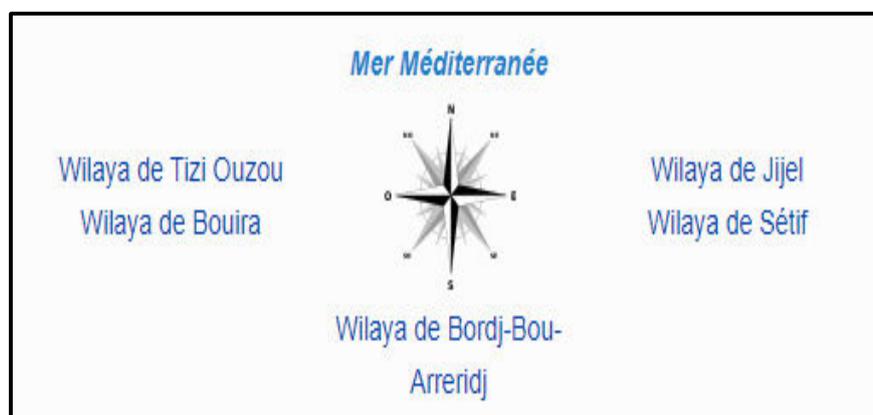


Figure III-1: Situation de la wilaya dans l'espace nord – est.

(Source : wikipédia.org)

### I.2. Le climat et température

Semblablement à toutes les régions situées sur le littoral algérien, la wilaya de Bejaïa profite d'un climat modéré avec un hiver doux dans son ensemble et une température de 15 °C en moyenne. Par contre, dans la période estivale qui est rafraîchie par les vents marins

du nord-ouest, la température atteint dans sa moyenne une valeur d'environ 25 °C. En outre sur les hauteurs, le climat est plus dur, avec parfois des chutes dans la température qui se baisse jusqu'à 8°C avec de la neige en hiver et des étés chauds qui arrive toutefois à 30°C dans la moyenne. (A. khalef S. hamriche, 2019)

### **I.2.1. Le vent**

La vitesse moyenne du vent sur cette région est de 20 à 26 m/s de léger à modéré, dont elle atteint son maximum au cours de la période hivernal surtout dans le mois de décembre ou la valeur est de 27 m/s, tandis que en aout la valeur est dans sa limite minimal. De plus, cette valeur est relativement stable du mois de janvier jusqu'au mois de mars et du mois de septembre jusqu'au mois de novembre. (A. khalef S. hamriche, 2019)

## **II. Choix du cas d'étude**

Le cas d'étude s'inscrit dans la catégorie des infrastructures hôtellerie. Le choix s'est porté sur l'hôtel cristal de Sidi Ahmed à Bejaia.

### **II.1. Critère du choix**

Le choix de cet équipement comme cas d'étude dépendant de quelques critères a titre de :

- Le bâtiment est conçu avec des matériaux classiques, sans aucune couche d'isolation.
- Le bâtiment est de même typologie que mon projet final.
- La différence remarquable de la température dans la zone où se trouve le bâtiment durant l'année à cause de son altitude.

## **III. Présentation du cas d'étude**

### **III.1. Situation**

Nous avons choisi comme objet d'étude l'hôtel CRISTAL située tout près du centre-ville de Bejaia, au lieudit Aamir sur la voie mécanique menant à sidi Ahmed. 800m au nord du lac mézaya.

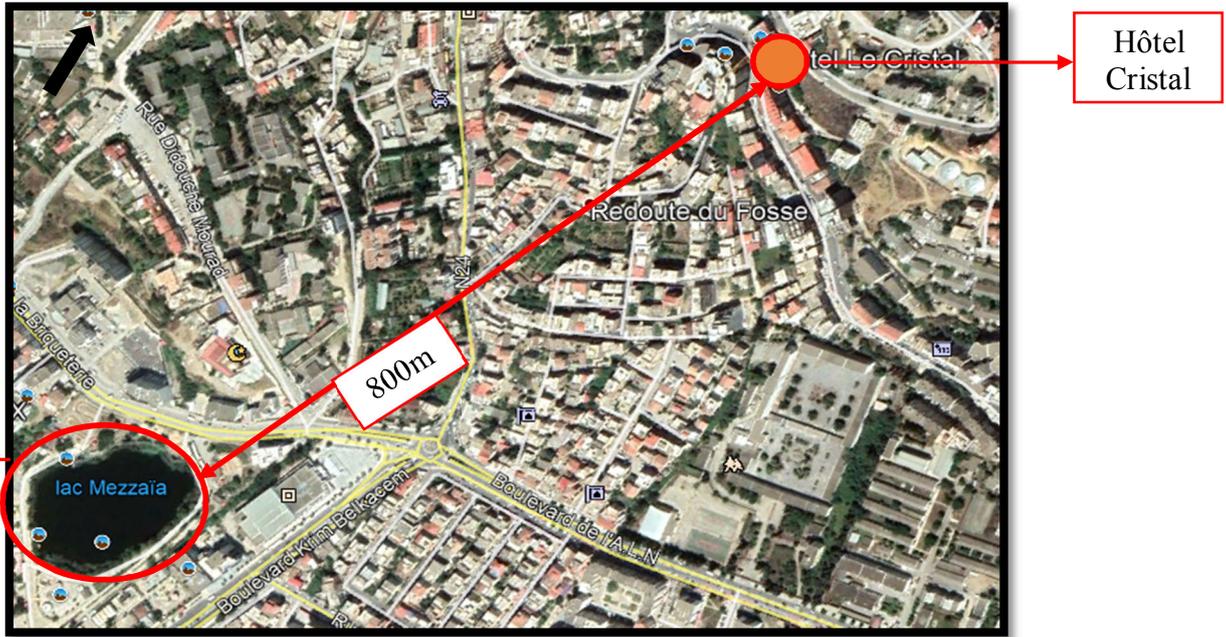


Figure III-2: Situation du l'hotel Cristal.  
(Source : Google earth, 2021)



Figure III-3 : Hôtel Cristal.  
(Source : Auteur. 2021)

### III.2. Fiche technique et limites du projet

Tableau III.1: Fiche technique du cas d'étude

Limite Nord	Rue Amari Abdelhamid
Limite Sud	Rue des frères Mellali
Limite Ouest	Magasin Meknia et Fettous
Limite Est	Agence Immobilier Enour
Nombre d'Etage	2 Entresol avec RDC+7
Altitude	75 m
Surface	1150 m <sup>2</sup>
Nombre de chambre	90 chambres

(Source : Google earth, 2021)

### III.3. Organisation de projet

Le terrain d'assiette devant supporter le projet situant sur les hauteurs avec une superficie plus de 1150 m<sup>2</sup>, qui offre de belles vues sur la bonne partie de la ville ainsi que sur la mer, destinée à accueillir plus de 2 100 clients /an, et offrir ainsi plusieurs espaces à usage commercial et administratif.

### III.4. Plan de masse de projet

Le plan de masse est composé de:

- Deux ailes dont la jonction est faite par un volume arrondi abritant au milieu une mezzanine vitrée pour l'éclairage naturel. \$
- Trois grands blocs de R+7 et de 2 terrasses accessibles en R+1 avec celle en R+4 orientées vers la ville et les paysages naturels.

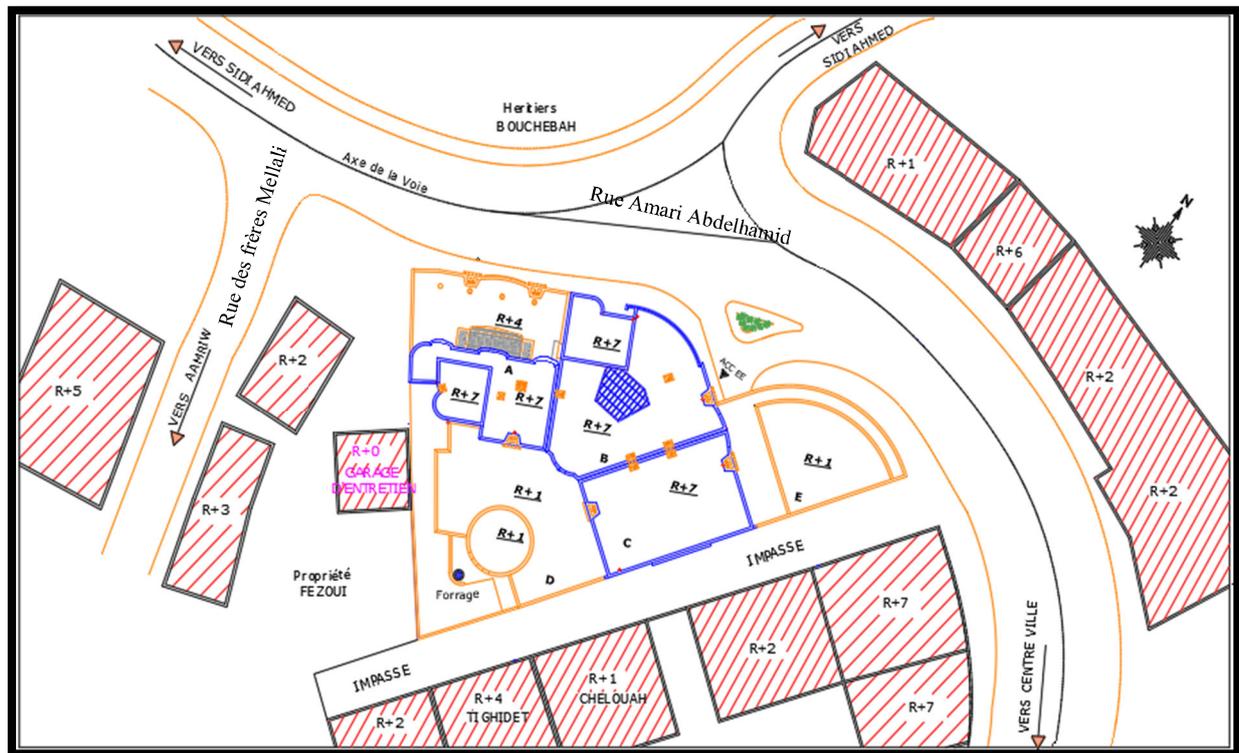


Figure III-4: Plan de masse du cas d'étude.  
(Source : Auteur, 2021)

### III.5. Présentation architecturale du cas d'étude

Sommairement L'Hôtel est constitué de :

\*Le premier entre sol qui est divisé en 02 Parties :

Partie 01 : Parking d'une capacité de 26 places, Locaux techniques,

Partie 02 : Boutiques, Cafeteria + Pizzeria accessibles à partir du hall d'accueil.

\*Le deuxième Entre sol qui contient un parking de 29 Places avec une bache à eau et Chaufferie.

\*Le RDC composé de : Hall d'Accueil, Administration, Cafeteria et salon de thé, Blanchisserie, Et enfin un logement pour personnel.

\*Le premier étage qui contient : une salle de conférence, un hall d'exposition, salle de restaurant, une salle de spectacle, Cuisine et annexes, et cantine pour le personnel.

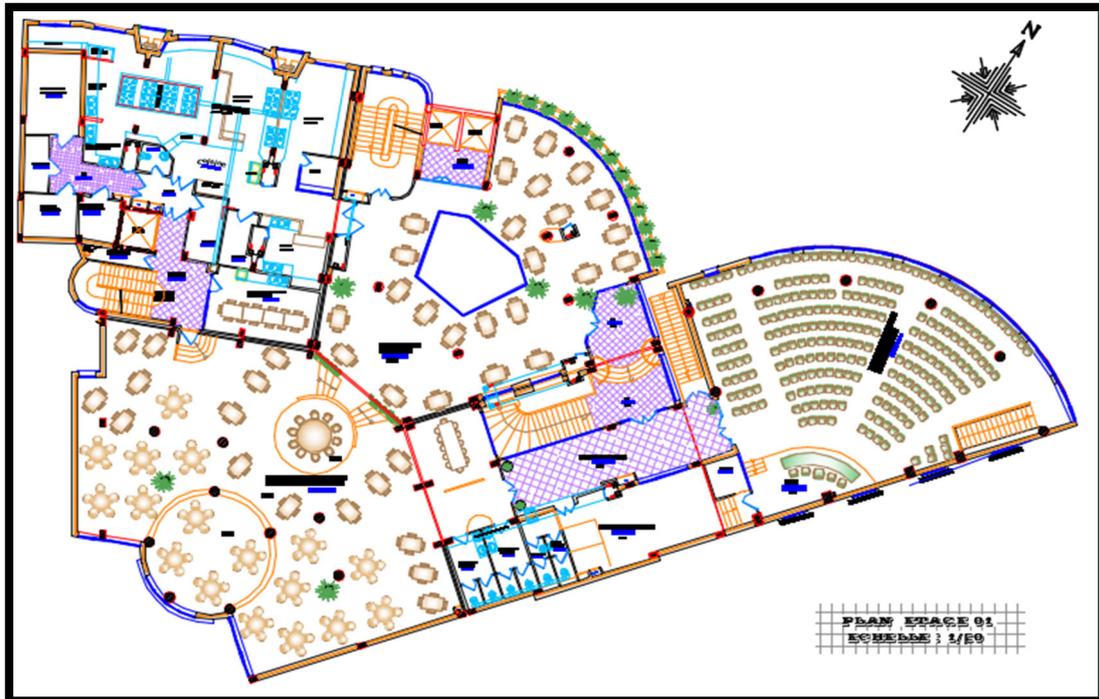


Figure III-5: Plan du 1<sup>er</sup> étage du cas d'étude.  
(Source : Bureau d'étude, 2004)

\*Le 02, 03 et 04 étage sont identiques composées de : 17 chambres et d'un office d'étage.



Figure III-6: Plan étage 02,03 et 04 du cas d'étude.  
(Source : Bureau d'étude, 2004)

\* Le cinquième étage composé d'un office d'étage, de 13 chambres avec une terrasse d'une Superficie de 159,10 m<sup>2</sup>.

\*L'Etage 06 et 07 sont composés d'un office d'étage, et de 13 chambres.

### III.6. Les matériaux de construction

Les murs extérieurs sont en brique creuse d'une épaisseur de 15 cm, une lame d'air de 5 cm et brique creuse de 10cm, avec un enduit en mortier de ciment ainsi un revêtement finale avec la peinture à l'intérieur et avec une façade ventilé depuis l'extérieur qui se constitue d'une lame d'air de 10cm avec des plaques en terre cuite comme composant de cette dernière. De plus les séparations intérieures sont également en brique creuse de 10 cm avec parfois, en enduit au plâtre et d'autre fois en enduit au ciment. Ensuite, les fenêtres sont composées d'un simple vitrage d'une épaisseur de 0.6 cm et d'un cadre en menuiserie aluminium, en revanche les portes sont en bois rouge du nord. Puis les planchers sont réalisés en parpaing hourdit (corps creux) de 20 cm, recouvert d'une couche du béton armé avec la pose d'un revêtement en céramique au final.



Figure III-7 : Les matériaux de base utilisés dans le cas d'étude.  
(Source : Auteur. 2021)

Tableau III.2 : Caractéristique des matériaux de construction.

<b>Matériaux</b>	<b>Epaisseur (mm)</b>	<b>Densité (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Chaleur spécifique (j/kg. °c)</b>	<b>Conductivité thermique (w/m.k)</b>
<b>Brique creuse</b>	100-150	650	1008	0.39
<b>Lame d'air</b>	50	1	1000	0.047
<b>Mortier de ciment</b>	20	1900	864	0.95
<b>Enduit plâtre</b>	20	1150	1008	0.57
<b>Verre</b>	6	1080	1003	1
<b>Béton arme</b>	60-100	2400	1000	2.20
<b>Hourdis</b>	150	550	1380	0.064
<b>Céramique</b>	50	1600	1030	1.15
<b>Plaque de terre cuite</b>	1.2	500	1000	0.2

(Source : D.T.R. C3-2, 1997)

#### **IV. Objectif de la campagne de mesures**

L'objectif des prises de mesures est d'évaluer l'un des paramètres climatiques qui est la température opérative de l'air dans les espaces intérieurs afin de jauger le confort thermique ainsi la consommation énergétique requise pour assurer ce dernier surtout dans des espaces clés d'un hôtel.

##### **IV.1. Protocol de travail**

Ce travail s'arrange selon la démarche suivante :

- Choix du cas d'étude.
- Choix des points de mesures comme méthode d'investigation pour étudier le comportement thermique à l'intérieur des espaces.

- Interprétation des résultats de mesure obtenue.
- Simulation numérique par l'logiciel ARCHIWIZARD, en deux étapes : simulation du cas initial et des scénarios représentant les modifications effectuées au niveau de choix des matériaux a utilisés.
- Interprétation des résultats obtenus sur les températures intérieures, les déperditions de chaleurs et les besoins du chauffage et de refroidissement.

#### IV.2. Instrument de mesure

L'instrument de mesure qui a été utilisé est un hygromètre, qui permet de quantifier la température de l'air ainsi l'humidité relative à l'intérieur des espaces.



Figure III-8 : L'instrument de mesure.  
(Source : jumia.dz)

#### IV.3. Choix des points des mesures

Le choix des points des mesures est décidé par rapport aux raisons suivantes :

- Les mesures doivent être effectuées dans un étage courant.
- Les mesures doivent être effectuées dans un espace non chauffer ou climatiser artificiellement.
- Prendre des mesures dans les espaces clés du bâtiment (Chambre et Restaurant).



Figure III-9 : Image intérieure du restaurant et de la chambre du cas d'étude.  
(Source : Auteur, 2021)

#### IV.3.1. Prise de mesure au niveau du restaurant

L'investigation a été faite au niveau du restaurant du cas d'étude dans une journée bien ensoleillée du début de la période estivale (Mardi 01 juin 2021), après avoir effectué plusieurs essais chaque 2h à une hauteur de 1.2 m du plancher bas.

Pour la mesure de la température de l'air j'ai suivi ces étapes:

- Choisir les points de mesures.
- Enregistrer les résultats dans un tableau.
- Traduire les résultats obtenus à des graphs.

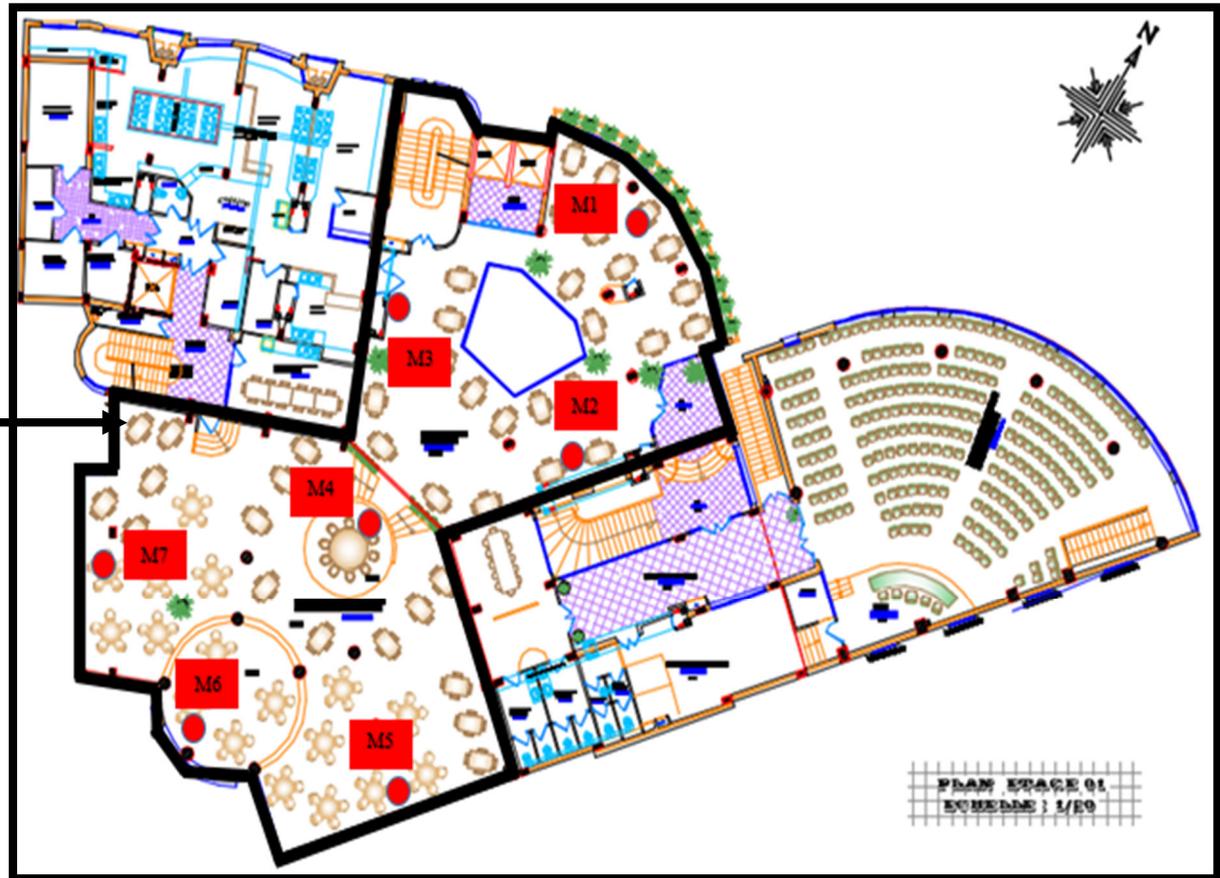


Figure III-10 : Les points de mesures dans le restaurant du cas d'étude.  
(Source : Auteur. 2021)

#### IV.3.2. Evaluation de la température intérieure

Les graphes des températures intérieures montrent que les températures mesurées sont supérieures à la température extérieure (météo) avec un écart de plus de 2.6 °C qu'a été enregistré à 13h. Ceci est dû au mouvement de l'air continu à l'extérieur alors que à l'intérieur est un espace encercler et fermée, uniquement les fenêtres qui s'ouvrent mais d'une façon contrôlables, et donc l'air à l'intérieur et relativement statique qui défavorise la dissipation de la chaleur.

On remarque que les températures intérieure se différent légèrement d'un point à l'autre ou on trouve une augmentation près de la façade sud pendant toute la journée notamment au niveau des points M5, M6 et M7, à cause du matériau qui compose cette façade qui s'agit du simple vitrage qui favorise la pénétration en permanence des rayons solaires et les infrarouges. Tandis que dans le centre du restaurant (M4) la température est inférieure à celles des points

situées près de la façade sud, puis elle se diminue au fur et à mesure dès qu'on s'éloigne de cette dernière en rapprochant vers la partie nord du restaurant (**M2**, **M3**), malgré une légère croissance au niveau du point **M3** proche du mur ouest du restaurant qui cache derrière une grande cuisine qui est un espace générateur de chaleur. Puis on remarque aussi une tout petite croissance au niveau du point **M1** située auprès de la façade nord complètement vitrée qui ne peut pas immobiliser les échanges thermiques entre l'extérieur et l'espace intérieur.

Cependant la température est remarquablement augmenter à 13h dans tous les coins du restaurant pour marquer une différence de valeur de plus de 2.1 C°, à cause de, la surchauffe des façades qui ne possèdent pas des brises solaires et qui laissent pénétrer la chaleur vers l'espace interne au lieu d'être un obstacle pour cette transmission, ainsi à cause de l'activité dans l'espace cuisine située à côté vers la partie ouest.

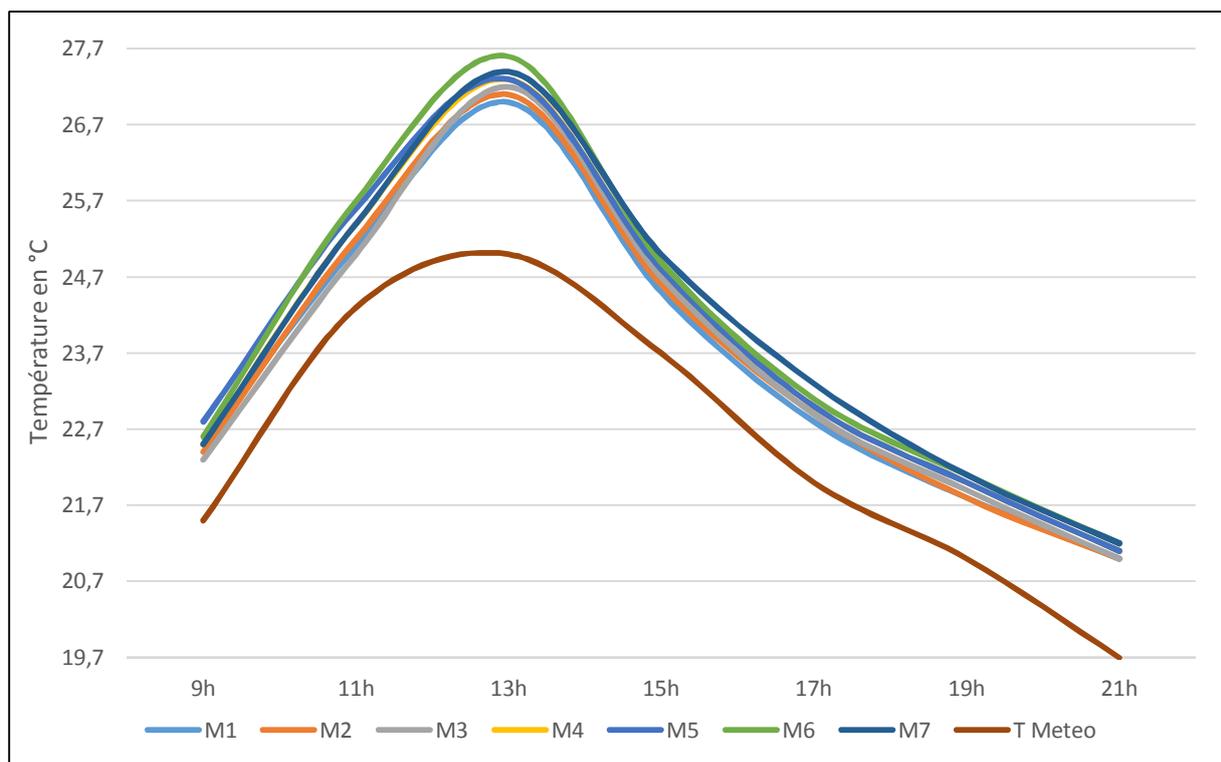


Figure III-11 : Les graphes des températures mesurées dans le restaurant.  
(Source : Auteur. 2021)

### IV.3.3. Synthèse

Après l'analyse des résultats de la température opérative intérieur on présume que l'espace restaurant de l'hôtel cristal est inconfortable dans les moments où la température dépasse le seuil du confort acquis ( $22^{\circ}\text{C}$ ) dans ce type d'équipement, surtout dans la période clé de l'espace qui est la phase du déjeuner entre 12h et 13h.

Aussi que les espaces près de la façade sud gagnent énormément de chaleur à travers la façade vitrée qui permette de capter le maximum des rayons solaires et les infrarouges durant toute la journée, qui causent le surchauffe de l'air à l'intérieur du restaurant.

### IV.4.1. Prise de mesure au niveau de la chambre

L'investigation a été faite au niveau d'une chambre vide, non exploitée orientée vers le sud qui se situe dans le 2eme étage du cas d'étude, dans une journée très ensoleillée vers la fin du mois Juin (Mardi 29 juin 2021), après avoir effectué plusieurs essais dans le milieu de la chambre chaque 2h à une hauteur de 1.2 m du plancher bas avec l'absence total de toute intervention des appareils de climatisation ou du chauffage.



Figure III-12 : Le point de mesure dans une chambre du cas d'étude.  
(Source : Auteur. 2021)

#### IV.4.2. Evaluation de la température intérieure

Le graphe de la température intérieure dans la chambre montre que celle-ci mesurée est relativement supérieure à la température extérieure (météo) notamment durant toute la journée avec des écarts qui arrive parfois a plus de 1°C, surtout vers midi qui présente la période de repos pour la majorité des clients. Ainsi que, après le couchement du soleil (après 19h), la température reste toujours élevée par rapport à la zone du confort thermique.

Cependant, ce résultat montre que la température interne de la chambre n'est pas stable et loin de la zone du confort (20-22°C) durant toute la journée. Ce qui montre encore l'incapacité de sa propre enveloppe (paroi externe/ parois interne/ baie vitrée) de garder une ambiance thermique agréable sans aucune intervention artificielle (climatisation), à cause de l'orientation de l'espace (vers le sud) qui est très défavorable dans la période estival, ainsi que les caractéristiques des différents matériaux du l'enveloppe qui sont inadéquates face au changement thermique de tel intensité.

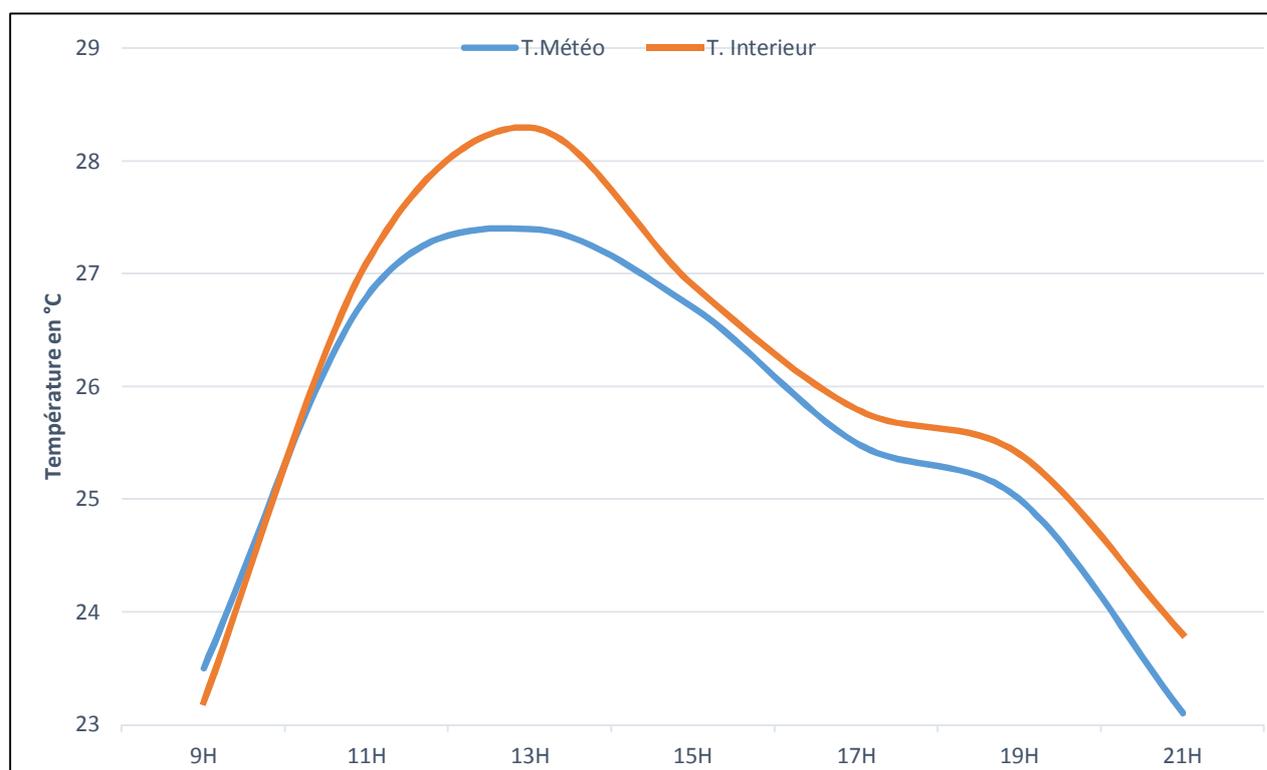


Figure III-13 : Le graphe de température mesurée dans la chambre.  
(Source : Auteur. 2021)

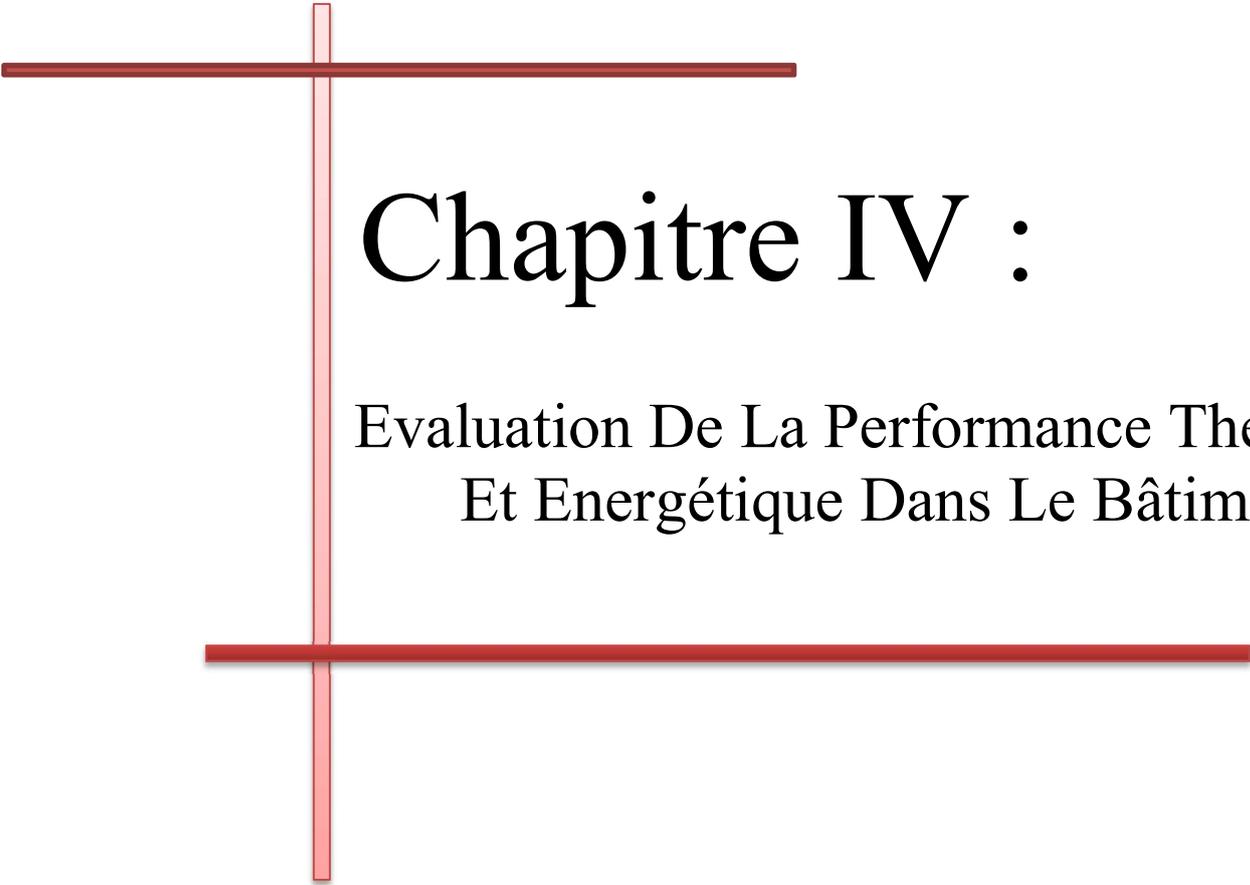
### IV.4.3. Synthèse

Du coup, après l'analyse de ce résultat on présume que les chambres de sud dans l'hôtel cristal sont inconfortables dans les moments où la température dépasse le seuil du confort acquis (20-22C°) surtout dans un équipement pareil qui doit assurer le meilleur confort possible pour sa clientèle surtout dans la période estivale qui est souvent en même moment avec la période des vacances sociales.

### Conclusion

Après l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus dans l'investigation on déduit que l'espace restaurant et chambre du l'hôtel cristal ne sont pas confortables à cause de l'impact de ces matériaux qui composent les façades extérieures et les cloisons internes, qui ne peuvent pas être des obstacles pour la transmission de chaleur. Ainsi, ils sont relativement incapables de stocker la chaleur dans le cas d'un surchauffe pour but de régulariser la température d'une manière naturelle, afin d'éviter toute sorte de consommation énergétique.

Toutefois, la température de l'espace intérieure est influencée également par l'orientation et la longueur de ces parois qui sont en contact avec l'extérieur et/ou l'intérieur. Cependant, pour bien assurer un bon confort thermique à l'intérieur il faudra choisir de bons matériaux avec des caractéristiques performantes qui vont être sélectionnés selon le type et les exigences de l'espace et son environnement.



# Chapitre IV :

Evaluation De La Performance Thermique  
Et Energétique Dans Le Bâtiment.

## Introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation numérique par le logiciel ARCHIWIZARD, dans lequel le développement de la simulation et les scénarios proposés vont être également traités et expliqués. Cependant, la simulation concerne en premier lieu l'état initial de l'étage qui contient les chambres du l'hôtel Cristal avec les mêmes matériaux utilisées dans la réalité afin de distinguer les erreurs sur la partie thermique et énergétique, ensuite en deuxième lieu la simulation va se concentrer sur les scénarios proposés qui consiste d'intégrer de nouveaux matériaux au lieu ceux qui existantes déjà.

Ensuite, en va proposer une série de matériaux qui vont être dégagés en fonction de leur efficacité en ce qui concerne le perfectionnement du confort thermique dans les chambres du l'hôtel Cristal orientée vers le sud, ainsi par rapport à la contribution dans la réduction des besoins énergétiques surtout ceux du chauffage en utilisant l'adaptabilité de ces matériaux, qui permettent à leurs tours de minimiser les infiltrations et les déperditions de chaleur selon la période de la saison. Afin de profiter au maximal des opportunités énergétiques naturelles, en minimisant l'utilisation de l'énergie artificielle.

## I. Présentation de la technique d'étude utilisée

Dans cette étude, on opte pour la simulation numérique grâce à un logiciel software spécialisée dans le domaine thermique et énergétique.

### I.1. L'outil de travail (simulation numérique)

C'est l'un des outils qui consiste à simuler un bâtiment avec son contexte (climat) afin d'étudier son comportement et ses propriétés face aux différentes stimules externes pour prédire sa réaction dans le temps. Du coup, « la simulation numérique est une série de calculs utilisant souvent la technique des éléments finis effectuée sur un support matériel « Ordinateur » dont les interfaces graphiques permettent la visualisation des résultats par des images de synthèse». (B. Samira, 2012)

## I.2. Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est de démontrer l'impact des matériaux ainsi leur caractéristiques sur le confort thermique des chambre du l'hôtel Cristal avec l'obtention des résultats quantitatifs et qualitatifs en relation avec la température opérative intérieur et la consommation énergétique.

## I.3. Argumentation du choix du logiciel de Simulation

Les logiciels de simulation dans le domaine thermique connaissent une évolution très rapide. Du coup, ils permettent de simuler l'effet de chaleur sur la consommation énergétique dans l'espace architectural prédéfinie, ce qui donne la possibilité de faciliter la conception architecturale des bâtiments.

Cependant, le choix du logiciel ARCHIWIZARD, grâce à son adéquation avec la thématique parce qu'il est spécialisé de plus dans la simulation thermique appliquée au bâtiment, ainsi il permette d'offrir un bilan énergétiques durant toute l'année avec la possibilité d'intégrer tous matériaux et leurs caractéristiques selon le besoin de l'étude.

## I.4. Présentation de logiciel de simulation ARCHIWIZARD

Le logiciel permet d'intégrer toutes les caractéristiques d'un bâtiment pour mener une étude détaillée de son comportement thermique et énergétique. ARCHIWIZARD intègre les variables d'emplacement, de matériaux de construction, d'architecture globale, y compris les plus complexes tels que les systèmes solaires innovants. Cependant ce logiciel permet également aux bureaux d'études, aux fabricants de simuler les performances thermiques d'un bâtiment et sa consommation énergétique, afin de [28] :

- Réduire le temps des études.
- Prendre en considération le climat.
- Réalisé des bâtiments énergétiquement performants.



Figure IV-1: Icône de logiciel Archiwizard.

(Source : fr.graitec.com)

## II. Déroulement de la simulation

La simulation s'est déroulée pendant une année de 1 janvier jusqu'à le 31 décembre par logiciel ARCHIWIZARD pour étudier les paramètres suivants (température, besoins énergétiques annuelles) en deux étapes :

- la simulation du cas initial.
- La simulation des scénarios avec l'intégration des matériaux plus performants (laine de bois, double vitrage).

### II.1. Démarches de la simulation

La démarche de simulation a été établie à l'aide de deux logiciels, qui sont :

#### 1- ARCHICAD

Ces logiciels consiste à la création initiale du model de notre cas d'étude ainsi son environnement voisinage, puis le sauvegarder en format «ifc», afin de le porter vers le deuxième logiciel.

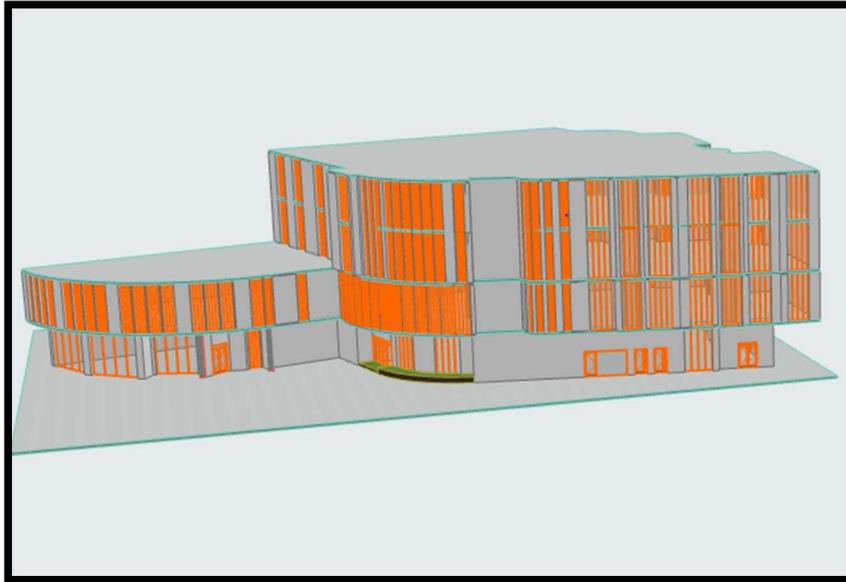


Figure IV-2: Le model 3d du cas d'étude créer par Archicad.  
(Source : Auteur, 2021)

## 2- ARCHIWIZARD

Après avoir importé le model 3d Archicad vers Archiwizard ainsi que le fichier des données climatique de la wilaya de Bejaia, ce dernier permette également de créer une simulation sur l'aspect thermique et énergétique durant une période précise.



Figure IV-3: Le model 3d du cas d'étude transférer vers Archiwizard.  
(Source : Auteur, 2021)

Ensuite, en entamera l'étape de configuration des parois et des planchers par l'introduction à volonté de multiple matériaux ainsi leurs caractéristiques en terme de, conductivité thermique, résistance thermique, épaisseur, densité et la capacité de stocker la chaleur.

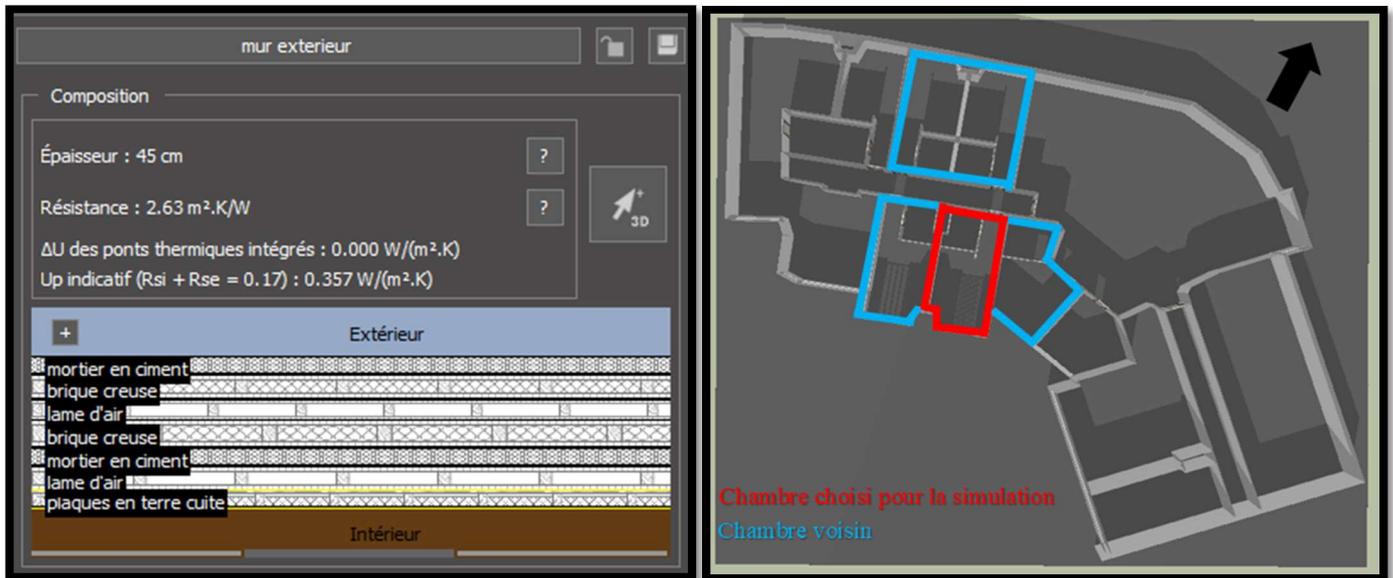


Figure IV-4: L'étape de la configuration des matériaux du l'enveloppe de la chambre  
(Source : Auteur, 2021)

Après avoir terminer l'étape de configuration des matériaux, en lancera donc la simulation durant une période d'une année.



Figure IV-5: L'étape du lancement de la simulation.  
(Source : Auteur, 2021)

### III. Résultat de la simulation du cas initial

Après avoir modélisé et transféré le modèle 3D de l'hôtel Cristal vers le logiciel Archiwizard, j'ai lancé la simulation avec les matériaux de base utilisés dans la réalité afin d'obtenir des résultats qui expriment le comportement thermique et énergétique de l'espace chambre à travers le temps.

#### III.1. Les matériaux utilisés pour la simulation dans le cas initial

Les matériaux dont se compose l'enveloppe de la chambre de l'hôtel Cristal sont des matériaux classiques de faible à moyen performant.

Tableau IV-1: Les matériaux utilisés pour la simulation dans le cas initial.

Eléments	Matériaux	Conductivité W/ (m.k)	Masse Volumique Kg/m <sup>3</sup>	Épaisseur Cm	Chaleur spécifique (j/kg. °c)
<b>Mur extérieurs</b>	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Lame d'air	- 0.250	- 1.00	- 5.0	- 1000
	- Brique	- 0.430	- 600	- 15	- 1008
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Lame d'air	- 0.250	- 1.00	- 10	- 1000
	-Plaque en terre cuite	- 0.2	- 500	- 1.2	- 1000
<b>Mur intérieurs</b>	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
<b>Plancher haut et bas</b>	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Hourdis	- 0.064	- 534	- 15	-1380
	- Béton armé	- 2.20	- 2400	- 5.0	-1000
	- Céramique	- 1.15	- 1600	- 5.0	-1030
<b>Vitrage</b>	- Simple vitrage	- 5.7	- 1080	- 0.6	-750

(Source : D.T.R. C3-2, 1997)

### III.2. Evaluation de la température intérieur du cas initial

Dans cette simulation, le calcul a été fait durant une période d'une année commençant par le 1 janvier jusqu'à le 31 décembre.

Selon le diagramme de la température intérieur on remarque que la valeur de cette température dans les deux premiers mois est inférieur de 17 °C, puis à partir de là jusqu'à la moitié du mois Mai, la température s'augmente relativement pour peut dépasser les 20 °C. Tandis que, après cette période la température a excessivement élevée avec une moyenne de 13 °C pour atteindre les 34 °C dans certains cas pendant l'été et la moitié d'automne, afin de prendre la chute encore une fois dans le reste du l'année pour s'atterrir dans moins de 10°C.

Cependant, on note bien que la température interne est loin d'être stable durant l'année. Du coup, il se trouve que dans plusieurs cas n'était pas à la norme commander (22°C) pour assurer un confort thermique des occupant, surtout dans la période d'été ou le surchauffe de l'aire est dominer dans l'ambiance intérieur, ainsi également vers la fin de l'année ou une chute est très remarquable dans la valeur de la température opérative intérieur. Ce qui signifie donc la capacité insuffisance des matériaux qui ont été choisis pour composer l'enveloppe des chambres, en termes d'isolation thermique et le stockage de la chaleur.

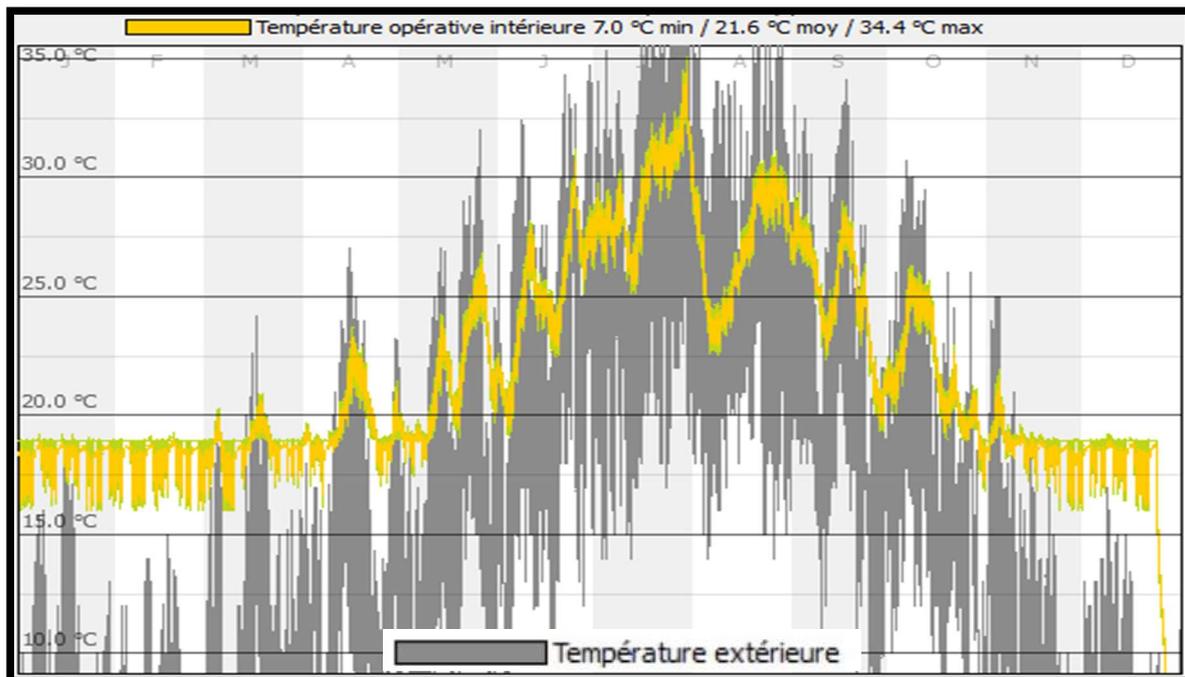


Figure IV-6: Le digramme de la température intérieure dans le cas initial.  
(Source : Auteur, 2021)

### III.3. Evaluation des déperditions de chaleur du cas initial

D'après une lecture des résultats obtenus en termes de déperdition thermique de l'enveloppe, on remarque que les majeure responsables de ces déperditions c'est la baie vitrée avec un taux de perte plus de 23.9 W/K qui signifie 41%. Puis s'enchaîne les deux planchers avec une perte au total de 20.0 W/K qui présente 34%. Ensuite en troisième lieu, on trouve les ponts thermiques qui laissent filer la chaleur avec un taux de 8.6W/K qui indique 15%. Vers la fin, la paroi exposée à l'extérieur est responsables d'une perte de chaleur de 10% qui signifie 6.2 W/K.

Cependant, une perte de chaleur au total reste considérable puisque il atteint presque 60W/K, ce qui signifie donc que l'ensemble de l'enveloppe de la chambre ne contribuent pas énormément a la conservation de la chaleur à l'intérieur du local, ce qui manifestera après par une grande consommation d'énergie afin de remplacer les pertes, afin de créer un confort thermique dans la période hivernal.

Ainsi que dans la période estival, ces pertes sont considérer comme gains thermiques qui causeront par la suite un immense surchauffe de l'air à l'intérieur de l'espace clé du l'hôtel qui se révélera éventuellement avec une nécessité d'utiliser la climatisation artificielle pour régulariser l'ambiance thermique.

Au final, tous ces problèmes concernant les déperditions ou le surchauffe thermiques sont liées directement au type de matériaux utilisés dans l'ensemble des parois (vitrage simple, brique creuse, mortier...etc.) qui ne possèdent pas de bonne caractéristique thermique pour réagir complètement à l'intérêt du confort des occupants.

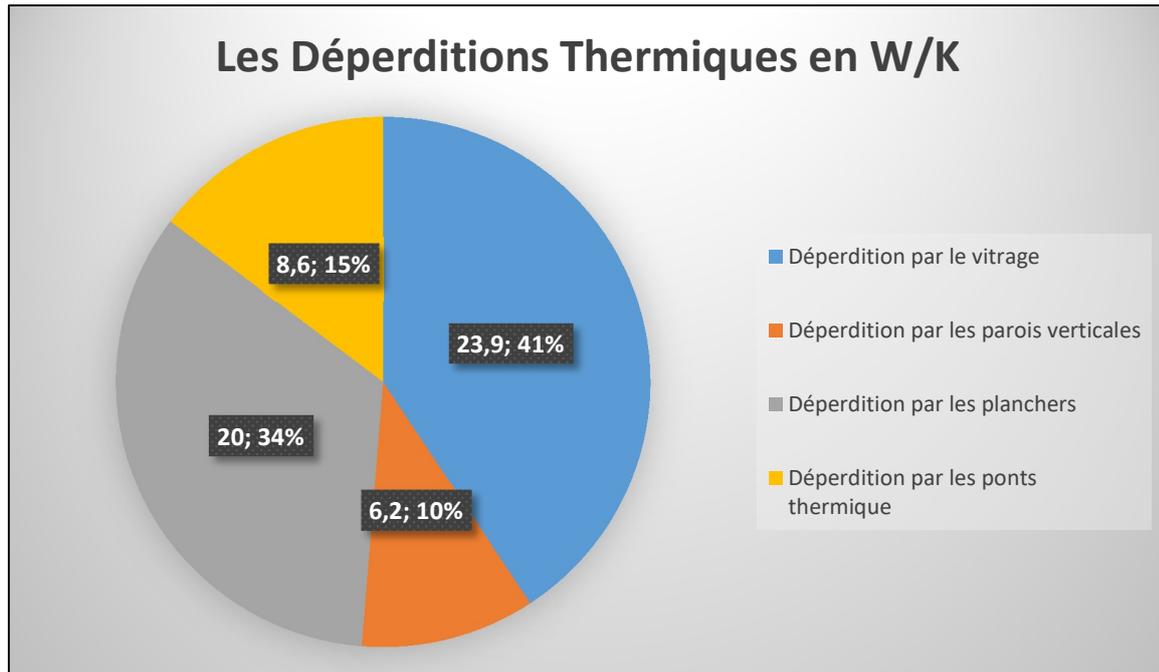


Figure IV-1: Les déperditions thermiques de l'enveloppe de la chambre.  
(Source : Auteur, 2021)

#### III.4. Evaluation des besoins énergétiques du cas initial

Les résultats annuels concernant les besoins énergétiques montrent que l'espace chambre afin d'assurer son confort thermique en terme des besoins de chauffage, sa nécessite une grande consommation d'énergie artificielle qui s'approche de 890 KWh par an. Tandis que en terme de besoins de refroidissement, sa demande une valeur minimal de 228 KWh par an, ce qui veut dire une consommation au total dans la chambre de 56 KWh/m<sup>2</sup>.

Cependant, dans cet espace, le confort thermique n'est donc toujours pas maintenu qu'avec l'utilisation excessive d'un système mécanique de chauffage ou de refroidissement qui consommera éventuellement autant d'énergie artificielle néfaste.

Tableau IV-2: Les besoins énergétiques de la maison durant toute l'année.

Besoins mensuels (kWh)	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
Chauffage	270.2	182.9	145.6	42.7	0	0	0	0	0	0	56.3	189.5	887.2
Refroidissement	0	0	0	13.7	17.8	47	51.7	59.7	13	12.7	11.2	0	228.5

(Source : Auteur, 2021)

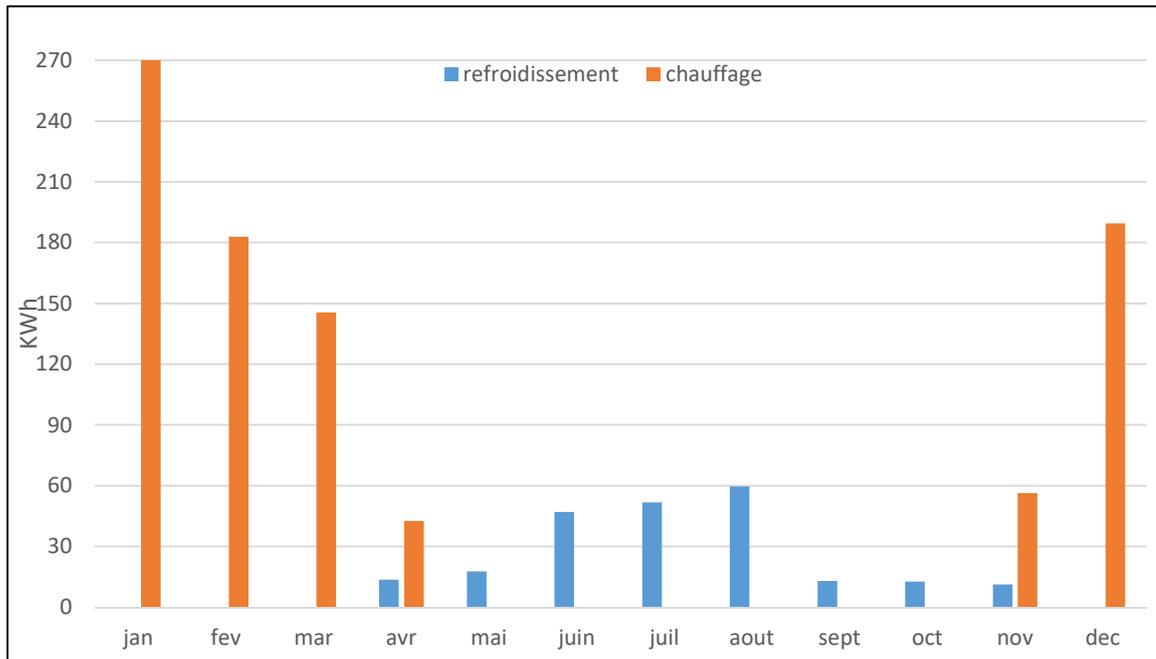


Figure IV-2: Diagramme des besoins de chauffage et de refroidissement.  
(Source : Auteur, 2021)

#### IV. La simulation des scénarios proposés

Après la simulation du cas initial, on entamera une série de simulation des scénarios proposés qui vont contenir dans son ensemble des changements dans chaque scénario au niveau des matériaux qui composent l'enveloppe de l'espace chambre.

A la rigueur, les matériaux qui vont être choisis pour animer les scénarios proposés sont en évidence des matériaux intelligents (thématique), mais dans notre cas où l'intégration de tels matériaux avec leurs propres caractéristiques dans les logiciels numériques est relativement impossible vu la complication de ce type de matériaux dans leur composition et surtout au niveau de leur comportement.

En revanche, pour dépasser cette étape on propose une série de simulation avec l'intégration de matériaux écologiques utilisés souvent dans la conception bioclimatique au lieu de ceux intelligents, afin de rester dans le contexte de préservation de l'environnement. Et pour cela on propose les scénarios suivants :

- 1- Intégration d'un isolant thermique qui est la laine de bois avec les panneaux en bois comme revêtement des murs depuis l'intérieur.
- 2- Intégration d'un isolant thermique qui est la laine de bois depuis l'extérieur.
- 3- Intégration des vitrages doubles au lieu des vitrages simples.

#### IV.1. Résultat de la simulation après l'inclusion de la laine de bois depuis l'intérieur

Dans ce scénario proposé, on a opté pour l'inclusion d'un isolant thermique naturel écologique depuis l'intérieur de l'espace chambre, qui s'agit de la laine de bois dans la composition de l'ensemble de ses parois et son plancher haut en tenant une épaisseur de 3 cm, ainsi avec l'intégration de panneaux en bois comme revêtement intérieure des murs et de plancher. Afin de distinguer leurs rôles dans la perfection thermique et énergétique dans les espaces.

##### IV.1.1. Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion de la laine de bois depuis l'intérieur

Tableau IV-3: Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'intérieur.

Eléments	Matériaux	Conductivité W/ (m.k)	Masse Volumique Kg/m <sup>3</sup>	Épaisseur Cm	Chaleur spécifique (j/kg. °c)
<b>Mur extérieurs</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1880
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Lambe d'air	- 0.250	- 1.00	- 5.0	- 1000
	- Brique	- 0.430	- 600	- 15	- 1008
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Lambe d'air	- 0.250	- 1.00	- 10	- 1000
	-Plaque en terre cuite	- 0.2	- 500	- 1.2	- 1000

<b>Mur intérieurs</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1880
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
<b>Plancher haut et bas</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1560
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Hourdis	- 0.064	- 534	- 15	-1380
	- Béton armé	- 2.20	- 2400	- 5.0	-1000
	- Céramique	- 1.15	- 1600	- 5.0	-1030
<b>Vitrage</b>	- Simple vitrage	- 5.7	- 1080	- 0.6	-750

(Source : D.T.R. C3-2, 1997)

#### IV.1.2. Evaluation de la température intérieur après l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur

Les résultats montrent que la température opérative a l'intérieure de la chambre est énormément régulier par rapport aux résultats obtenus dans le cas de l'absence d'un isolant (cas initial). Cependant, le diagramme de température est relativement plus stable durant toute l'année ou celle-ci se maintien entre 15°C et 27.8°C, ce qui signifier un rapprochement de plus vers la zone du confort thermique exagérer.

En fait, cette couche d'isolation possède une grande résistance thermique due à sa faible conductivité thermique et sa grande capacité de stocker la chaleur qui lui permettra de réagir comme un obstacle pour les transferts de chaleur entre les différentes espaces malgré les changements climatiques à l'extérieur

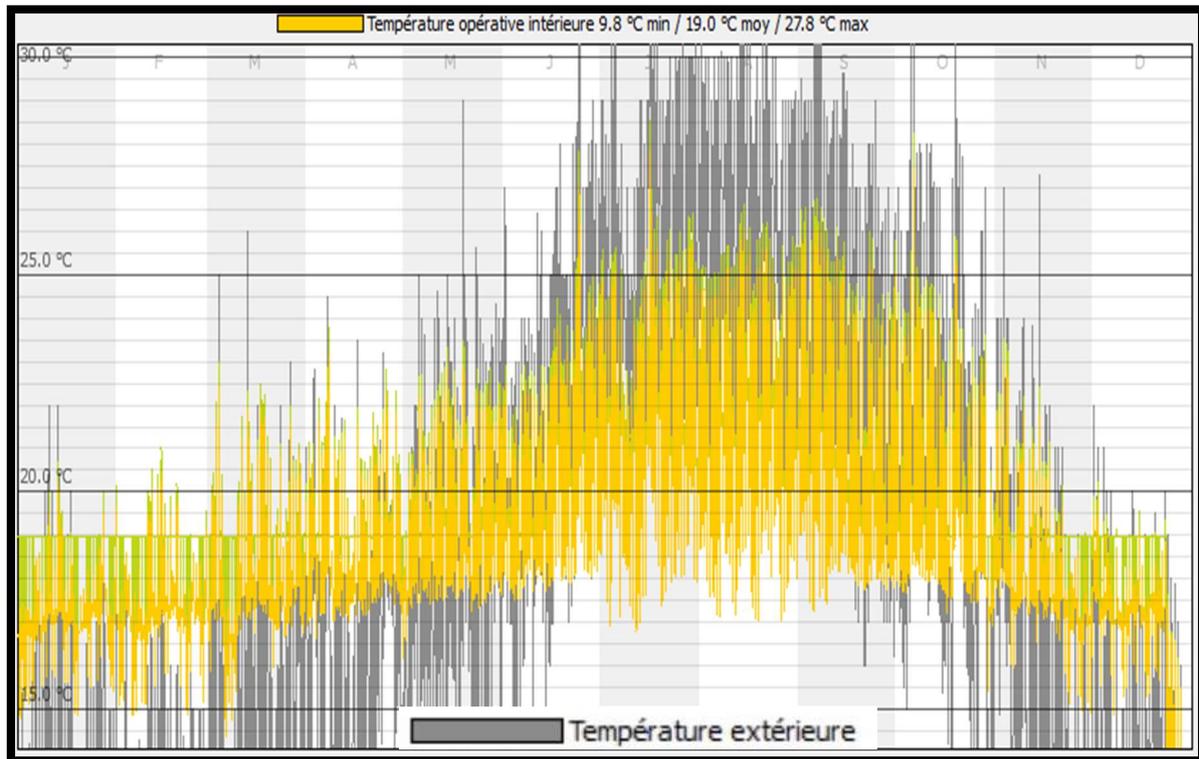


Figure IV-9: La température intérieure après l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur.  
(Source : Auteur, 2021)

### IV.1.3. Evaluation des déperditions de chaleur après l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur

D'après une lecture des résultats obtenus en termes de déperdition thermique concernant l'enveloppe de la chambre après l'inclusion de la laine et les panneaux en bois, on remarque bien que le taux de ces déperditions a été remarquablement affaibli dans l'ensemble de ses éléments avec un taux de 16 W/K par an, qui signifie une réduction de plus de 25% par rapport au cas initial. Ainsi qu'une diminution considérable a été mentionné dans le taux des pertes soumissent par les ponts thermiques, avec une valeur de 2,0 W/K par an, pour avoir au final une minimisation de plus de 23% par an, afin d'arriver au total à une valeur de perte de 44,3W/K par an.

Les réductions dans les déperditions thermiques connues dans ce scenario prouvent l'efficacité thermique de cette couche d'isolation, ainsi sa contribution dans la préservation et la protection contre la chaleur, par l'élimination des points de fuites situées au niveau du l'enveloppe qui limitera ainsi les transmissions de chaleur entre les différentes espaces.

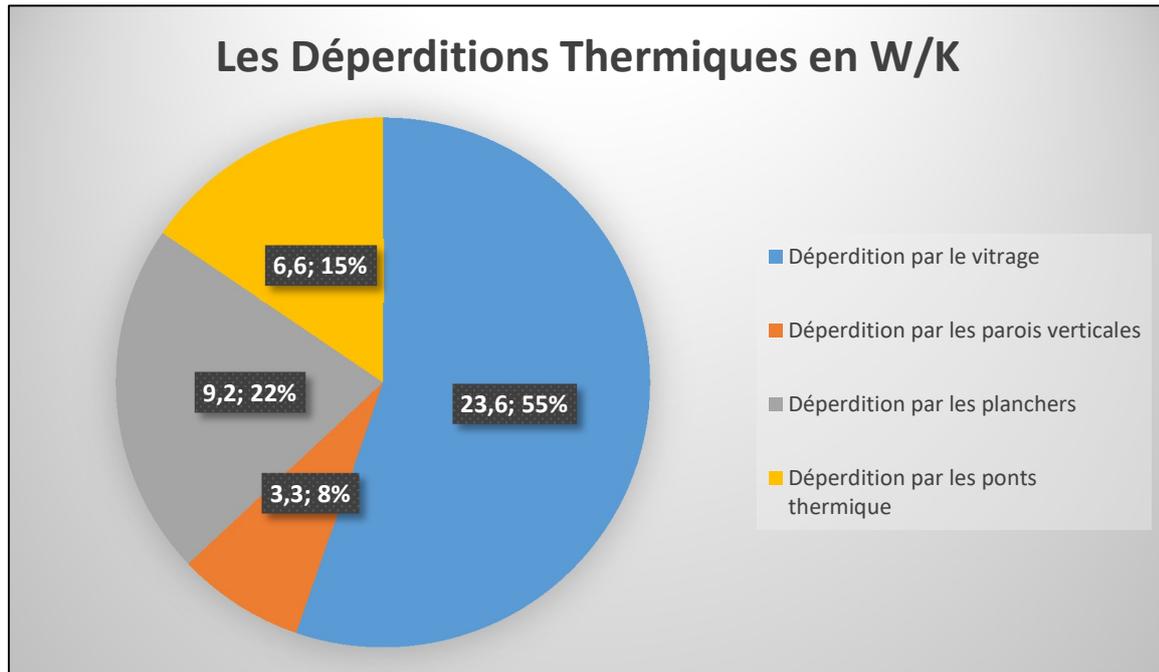


Figure IV-10 : Les déperditions thermiques après l'inclusion de la laine de bois depuis l'intérieur.  
(Source : Auteur, 2021)

#### IV.1.4. Evaluation des besoins énergétiques après l'inclusion d'un isolant thermique de l'intérieur

D'après le tableau et le diagramme ci-dessous, on remarque que dans le cas d'inclusion d'un isolant thermique et des panneaux en bois depuis l'intérieur dans la composition des murs et le plancher haut de la chambre, une réduction considérable mesurée dans les 165 KWh par an dans le taux des besoins de chauffage par rapport au cas d'absence d'un isolant, pour atteindre une valeur de 722 KWh. Autrement dit une réduction de 19% uniquement ce qui concerne les besoins de chauffage. Tandis qu'une réduction presque de 34 KWh (15%) a été mentionnée dans les besoins de refroidissement pendant l'année, afin d'arriver à un total de remise d'énergie de presque 200 KWh. Ce qui montre l'efficacité énergétique de cet isolant qui réduira systématiquement dans le temps les besoins et la consommation d'énergie artificielle.

**NB :** Le pourcentage de réduction des besoins de chauffage et de refroidissement augmente relativement avec l'épaisseur de l'isolant thermique utilisé dans l'enveloppe de l'espace.

Tableau IV-4: Synthèse des besoins de chauffage et de refroidissement après l'inclusion de la laine de bois depuis l'intérieur

Besoins mensuels (kWh)	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
Chauffage	168.5	127.2	86.7	47	0	0	0	0	0	43.6	102.5	146.5	722
Refroidissement	0	0	0	18.8	23.2	24.0	48.7	37.1	17.9	14	11	0	194.7

(Source : Auteur, 2021)

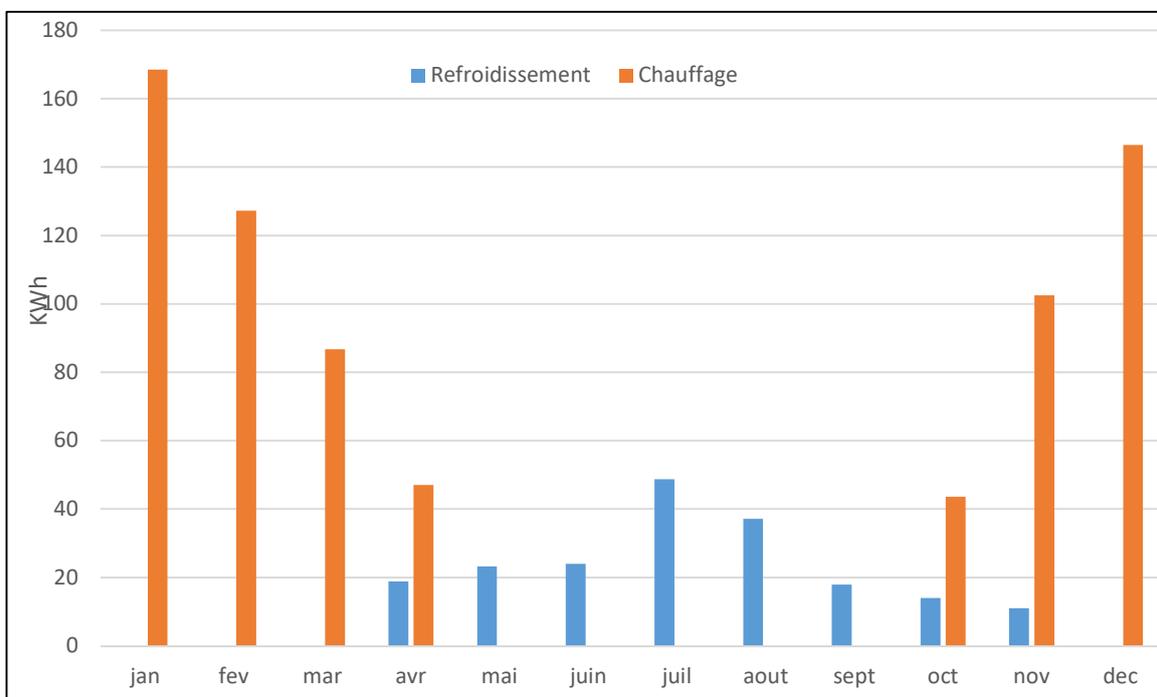


Figure IV-11: Diagramme des besoins énergétiques après l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'intérieur. (Source : Auteur, 2021)

#### IV.2. Résultat de la simulation après l'inclusion de la laine de bois depuis l'extérieur

Dans ce troisième scénario on va projeter le même isolant thermique utilisé qu'avant avec la même épaisseur, mais cette fois-ci à partir de la surface externe de l'ensemble des parois verticales avec la conservation des panneaux en bois comme revêtement intérieur, afin de distinguer la différence dans l'efficacité thermique et énergétique de ce qui concerne le positionnement de cette couche d'isolation dans l'enveloppe d'un édifice.

### IV.2.1. Les matériaux utilisés pour la simulation avec l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur

Tableau IV-5: Les matériaux utilisé pour la simulation avec l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur.

Eléments	Matériaux	Conductivité W/ (m.k)	Masse Volumique Kg/m <sup>3</sup>	Épaisseur Cm	Chaleur spécifique (j/kg. °c)
<b>Mur extérieurs</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Lamé d'aire	- 0.250	- 1.00	- 5.0	- 1000
	- Brique	- 0.430	- 600	- 15	- 1008
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1880
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Lamé d'air	- 0.250	- 1.00	- 10	- 1000
	-Plaque en terre cuite	- 0.2	- 500	- 1.2	- 1000
<b>Mur intérieurs</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1880
<b>Plancher haut et bas</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1560
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Hourdis	- 0.064	- 534	- 15	-1380
	- Béton armé	- 2.20	- 2400	- 5.0	-1000
	- Céramique	- 1.15	- 1600	- 5.0	-1030
<b>Vitrage</b>	- Simple vitrage	- 5.7	- 1080	- 0.6	-750

(Source : D.T.R. C3-2, 1997)

#### IV.2.2. Evaluation de la température opérative intérieure après l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur

Les résultats montrent que la température opérative a l'intérieure de l'espace chambre est légèrement régulier avec presque de 4°C par rapport aux résultats obtenus dans le cas de l'isolation depuis l'intérieur. Cependant, le diagramme de température est relativement plus stable durant l'année ou celle-ci se maintien entre 16°C et 23°C, ce qui signifie encore une fois un rapprochement de plus en plus vers la zone du confort thermique (20-22°C).

Toutefois, ces résultats montrent le plus qui a été emporté juste par le changement de la position de la couche d'isolation au niveau de l'enveloppe, qui donne une prévision sur l'emplacement idéal pour une isolation thermique au niveau de la bâtisse.

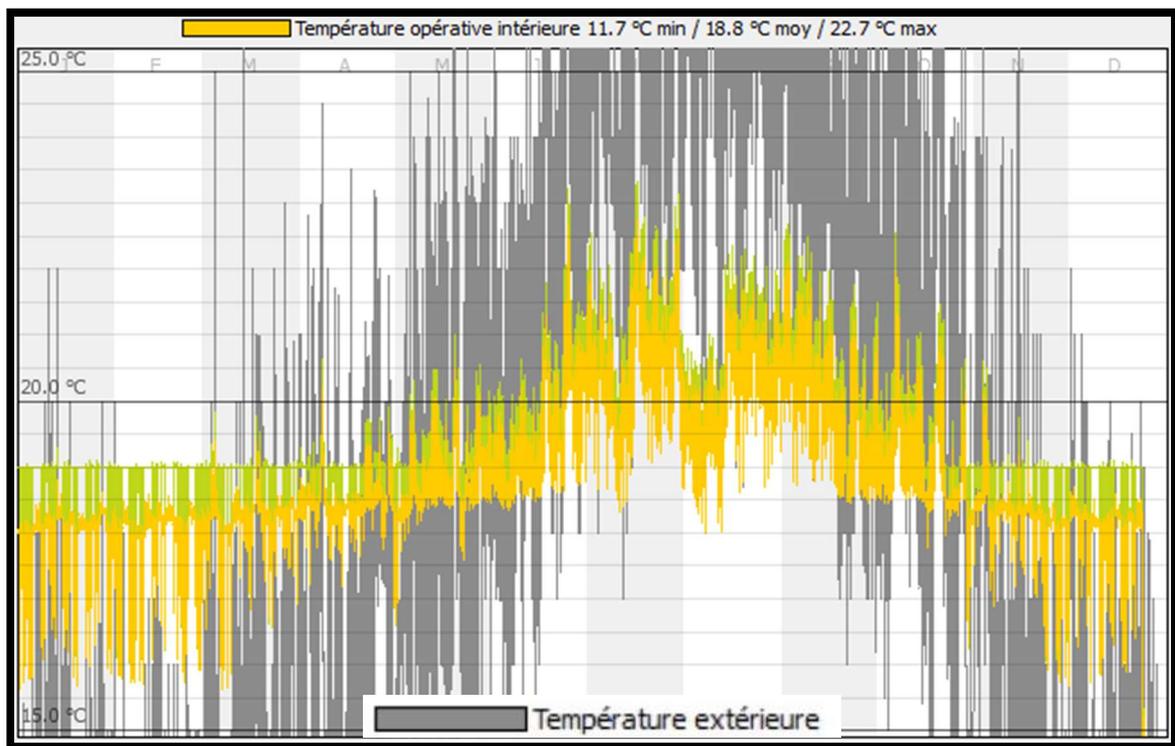


Figure IV-12: La température intérieure après l'inclusion de la laine de bois depuis l'extérieur.  
(Source : Auteur, 2021)

### IV.2.3. Evaluation des déperditions de chaleur après l'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur

D'après une lecture des résultats obtenus en termes de déperdition thermique de l'enveloppe après l'inclusion d'un isolant naturel depuis l'extérieur, on constate que le taux de ces déperditions a été encore remarquablement diminué avec environ 4 W/K dans les ponts thermiques, pour arriver au total à un ensemble de perte inférieure à 39 W/K par an, ce qui veut dire une réduction de 13 % par rapport au cas précédent.

En revanche, par rapport aux autres éléments constructifs de l'enveloppe la valeur de ces déperditions a été constante malgré le changement de la position de l'isolant, ce qui montre que l'emplacement de ce dernier (extérieur ou intérieur) a un impact direct non négligeable sur les ponts thermiques qui affectent à leurs tours la capacité de l'enveloppe pour conserver ou de se protéger contre la chaleur.

Cependant, lorsque cette couche d'isolation est installée depuis l'extérieur, le nombre des ponts thermiques au niveau de l'enveloppe se diminue, par conséquent les possibilités des transmissions de chaleur par les infiltrations de l'air sont largement réduites qui se manifesteront alors par une stabilité de plus des valeurs de température.

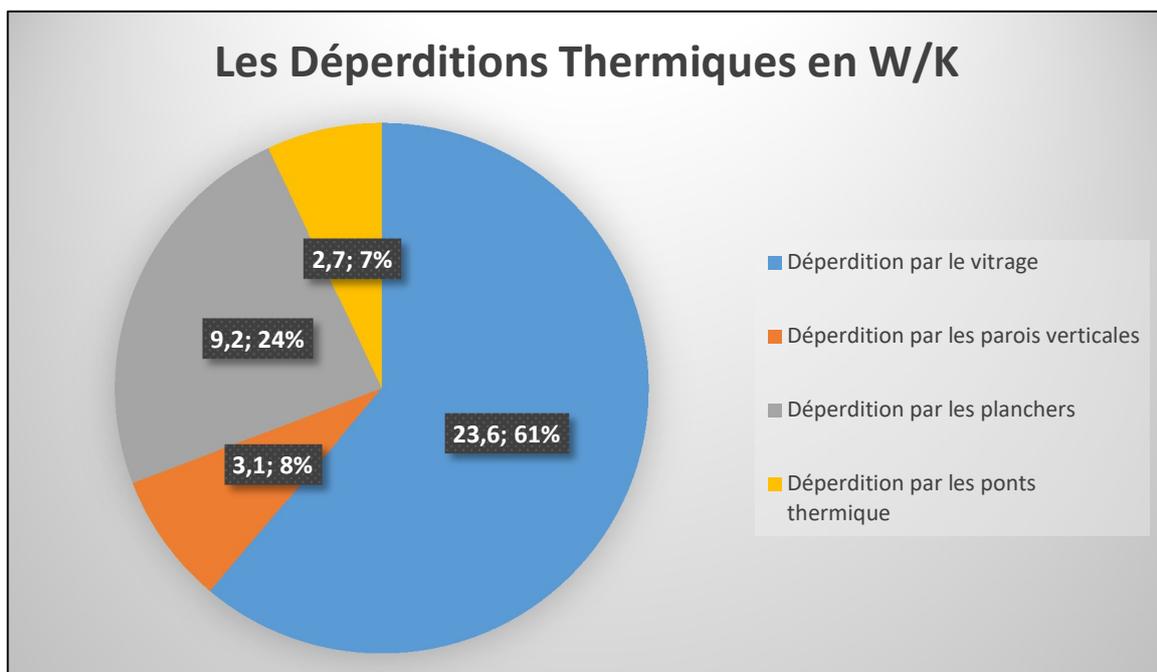


Figure IV-13: Les déperditions de chaleur avec un isolant depuis l'extérieur.  
(Source : Auteur, 2021)

#### V.2.4. Evaluation des besoins énergétiques après l'inclusion d'un isolant thermique de l'extérieur

D'après le tableau et le diagramme ci-dessous, on remarque que dans le cas d'inclusion d'un isolant thermique depuis l'extérieur dans la composition de mur externe, une réduction importante de plus de 115.5 KWh dans le taux des besoins de chauffage dans la chambre par rapport au cas d'isolation depuis l'intérieur, pour atteindre la valeur de 606.5 KWh par an. Autrement dit une réduction plus de 16 % des besoins de chauffage par rapport au cas précédent. De même que, les besoins de refroidissement qui ont connu une simplification d'environ 17.5KWh par an, exprimer avec une valeur de 9 % de réduction.

Finalement, les résultats de ces deux derniers scenarios montrent l'efficacité décisive de l'isolant thermique ainsi son emplacement par rapport à l'enveloppe dans le stockage, la conservation et la protection contre la chaleur dans les espaces internes qui fait réduire systématiquement ces propres besoins et consommation énergétique.

Tableau IV-6: Synthèse des besoins de chauffage et de refroidissement avec l'introduction d'un isolant thermique depuis l'extérieur.

Besoins mensuels (kWh)	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
Chauffage	138.7	101.4	74.7	36.5	0	0	0	0	0	39.8	86	129.4	606.5
Refroidissement	0	0	0	17.5	20	23.5	46.3	36.3	13	12.4	9.2	0	177.2

(Source : Archiwizard, 2021)

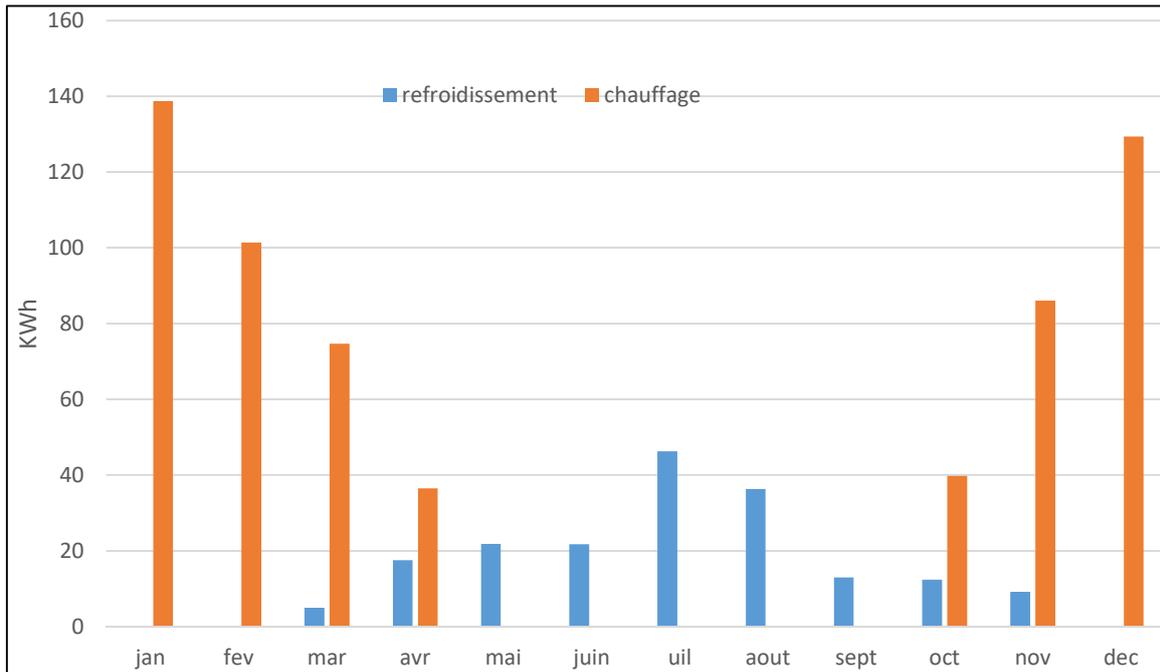


Figure IV-14: Diagramme des besoins énergétiques avec un isolant thermique depuis l'extérieur.  
(Source : Auteur, 2021)

### IV.3. Résultat de la simulation avec les vitrages doubles

Dans ce quatrième scénario proposé, on va remplacer le vitrage simple de la baie vitrée posé dans le mur sud de la chambre par un vitrage double avec lame d'air, afin de distinguer la différence dans l'efficacité thermique et énergétique entre les deux, toutes en préservons la composition précédente des parois et des planchers avec l'existence du même couche d'isolation thermique depuis l'extérieur.

## IV.3.1. Les matériaux utilisés pour la simulation avec les vitrages doubles

Tableau IV-7: Les matériaux utilisé pour la simulation avec l'inclusion de doubles vitrages

Eléments	Matériaux	Conductivité W/ (m.k)	Masse Volumique Kg/m <sup>3</sup>	Épaisseur Cm	Chaleur spécifique (j/kg. °c)
<b>Mur extérieurs</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Lame d'aire	- 0.250	- 1.00	- 5.0	- 1000
	- Brique	- 0.430	- 600	- 15	- 1008
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1880
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Lame d'air	- 0.250	- 1.00	- 10	- 1000
	-Plaque en terre cuite	- 0.2	- 500	- 1.2	- 1000
<b>Mur intérieurs</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Brique	- 0.430	- 600	- 10	- 1008
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1880
<b>Plancher haut et bas</b>	- Panneau en bois	- 0.13	- 650	- 1.2	- 1560
	- Laine de bois	- 0.055	- 30	- 3.0	- 1560
	- Mortier ciment	- 0.950	- 1750	- 2.0	- 864
	- Hourdis	- 0.064	- 534	- 15	-1380
	- Béton armé	- 2.20	- 2400	- 5.0	-1000
	- Céramique	- 1.15	- 1600	- 5.0	-1030
<b>Vitrage</b>	- Simple vitrage	- 5.7	- 2160	- 1.2	-1000

(Source : D.T.R. C3-2, 1997)

### IV.3.2. Evaluation de la température opérative intérieure avec les doubles vitrages

Les résultats ci-dessous montrent que la température opérative à l'intérieure de la chambre du l'hôtel cristal après l'inclusion des doubles vitrages est légèrement régulier dans l'ensemble de cette dernière durant l'année, afin de se stabiliser entre 15 et 22 °C qui signifie le grand rapprochement vers la zone du confort thermique.

En outre, malgré toutes les modifications virtuelles exercées sur le restaurant du l'hôtel cristal, la température intérieure ambiante n'est jamais été parfaitement constante durant la longueur de l'année.

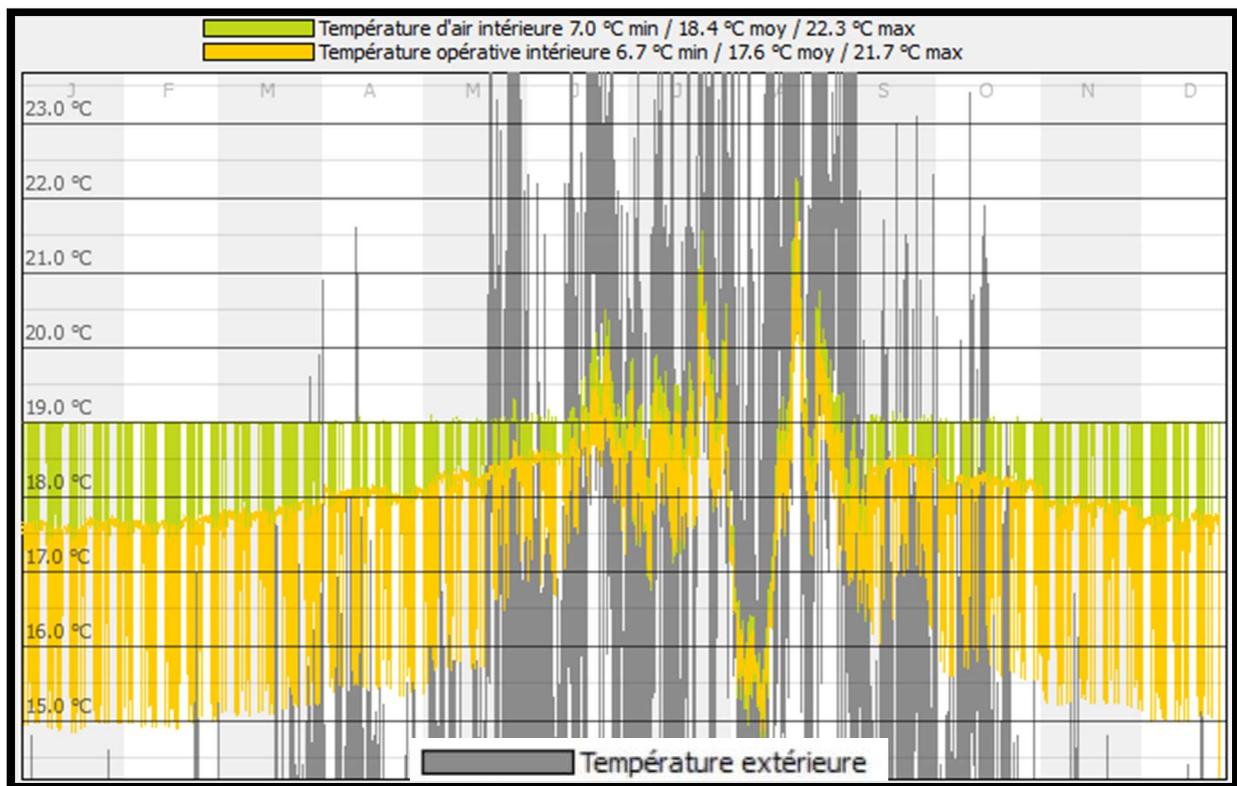


Figure IV-15: Le diagramme de température intérieure avec les vitrages doubles.  
(Source : Auteur, 2021)

### IV.3.3. Evaluation des déperditions de chaleur avec les doubles vitrages

D'après une lecture des résultats obtenus en termes des déperditions thermiques de l'enveloppe après l'inclusion des doubles vitrages à la place des vitrage simple, on constate que le taux de ces déperditions a été énormément baissé avec plus de 14 W/K dans la baie vitrée qui

présente plus de 60% de réductions par rapport au usage des vitrages simples, pour arriver au total a un ensemble de perte inférieur à 25 W/K par an.

Du coup, la présence de tels vitrage dans les ouvertures du l'enveloppe défavorise la pénétration des vagues de chaleur ainsi les infrarouges et les ultra-violets à l'intérieur du local afin d'éviter toute surchauffe dans l'espace notamment dans la période estival. Tandis que dans la période hivernal ou la conservation de la chaleur dans les locaux est recommandée, ce type de vitrage sert à minimiser les pertes thermiques dans les ouvertures grâce à sa capacité d'isolation de haute qualité.

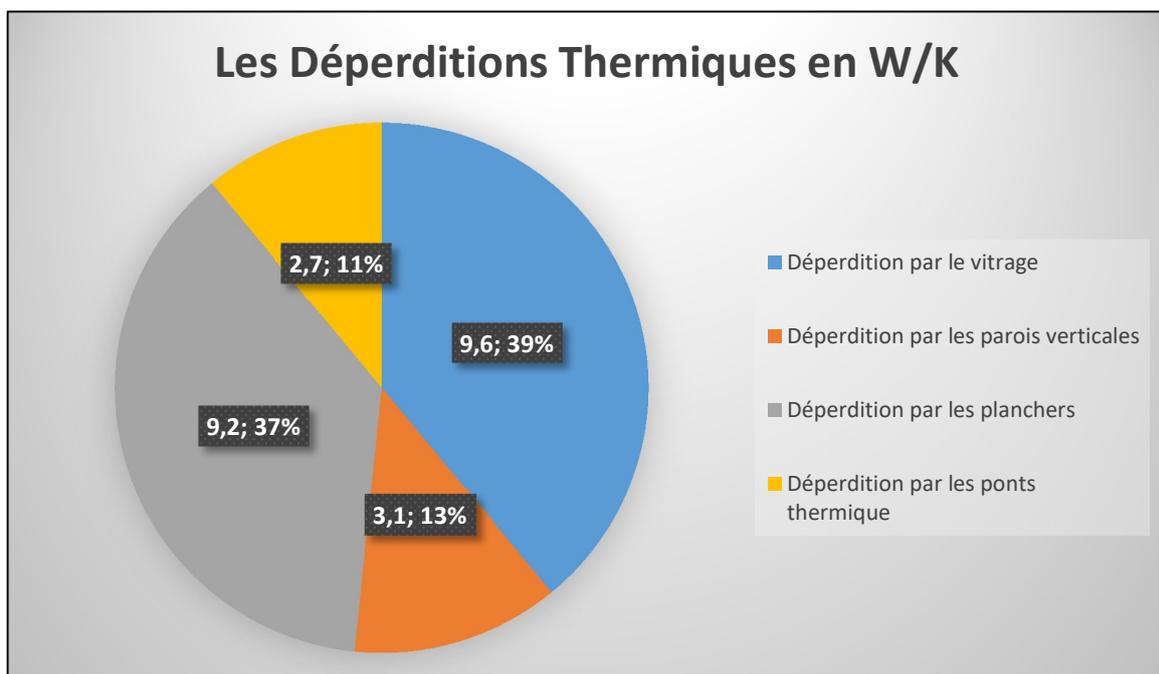


Figure IV-16: Le pourcentage des déperditions de chaleur avec l'utilisation des vitrages doubles. (Source : Auteur, 2021)

#### IV.3.4. Evaluation des besoins énergétiques après l'inclusion des doubles vitrages

D'après les résultats obtenu ci-dessous, on perçoit que dans le cas d'inclusion des doubles vitrages, une importante réduction est relever dans le taux des besoins énergétiques dans la chambre, qui est considérer d'environ 90 KWh par rapport au besoin de chauffage, et d'environ 44 KWh par rapport au besoin du refroidissement. Afin d'atteindre une valeur de 470.6 KWh par an dans son ensemble. Autrement dit une réduction au total de plus de 17 % des besoins énergétiques par rapport au cas précédent (isolation depuis l'extérieur).

Ce qui prouve l'efficacité énergétique de ce type de vitrage et sa contribution à la régularisation notamment du bilan énergétique (chauffage et refroidissement) et même celui économique.

Tableau IV-8: Synthèse des besoins énergétiques avec l'utilisation des doubles vitrages.

Besoins mensuels (kWh)	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
Chauffage	91	65.7	48.7	10.5	0	0	0	0	0	6.2	48.4	92.9	363.4
Refroidissement	0	0	0	6.8	10	9.3	30	28.1	5.4	7.7	5.7	0	103

(Source : Auteur, 2021)

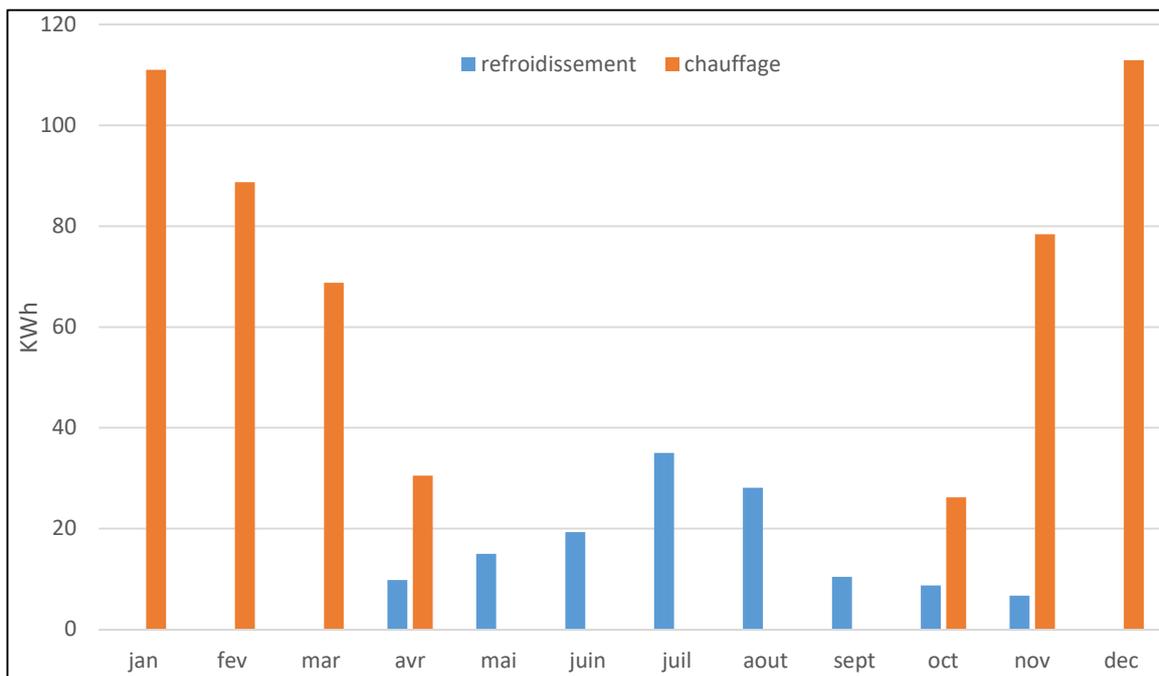


Figure IV-17: Diagramme des besoins de chauffage avec l'utilisation des doubles vitrages.  
(Source : Auteur, 2021)

## V. Synthèse

Après les calculs et les simulations faits par le logiciel ARCHIWIZARD, et d'après les graphes ci-dessus, on conclut que lorsqu'en intègre des matériaux naturels de faible conductivité thermique et de grande capacité de stoker la chaleur dans l'ensemble de la composition du l'enveloppe, la consommation énergétique en termes de chauffage et de refroidissement se réduit comparativement au cas de leurs absence. Aussi bien que le confort thermique est de plus en plus atteint dans l'espace chambre à chaque fois qu'en rajoute un matériau plus performant dans l'endroit le plus adéquat.

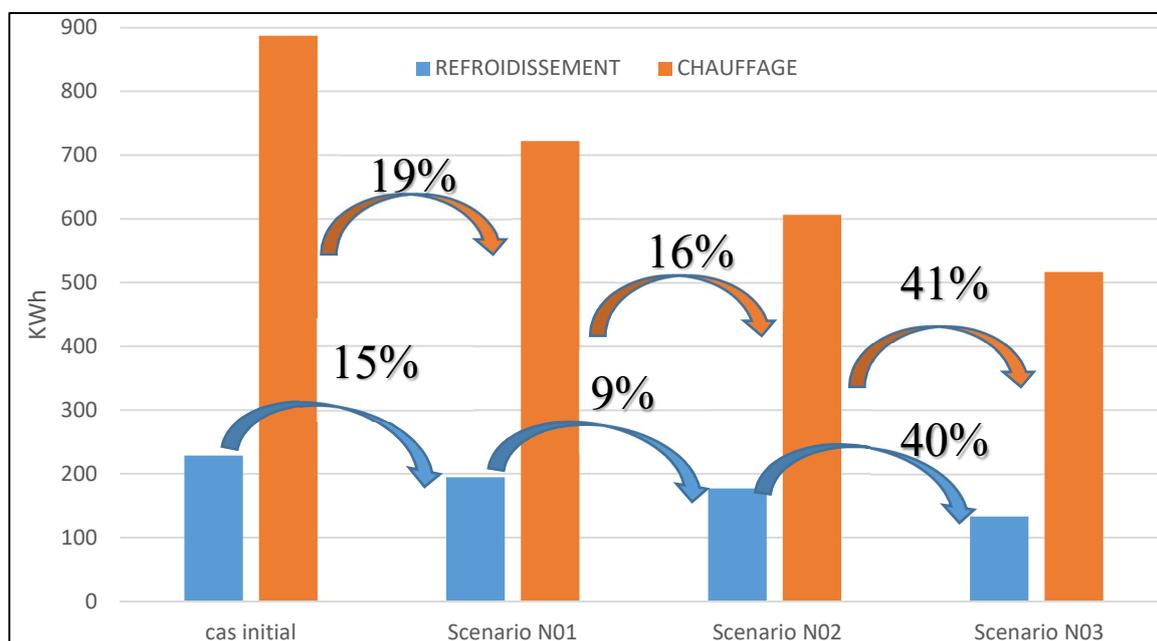


Figure IV-18: Diagramme de comparaison des besoins énergétiques entre les scénarios.  
(Source : Auteur, 2021)

En revanche, il est relativement impossible d'avoir une stabilité parfaite dans la température opérative intérieure durant toute l'année sans avoir reposé sur l'énergie du chauffage ou plutôt celles de ventilation. Mais, notre rôle c'est d'essayer de réaliser une conception architecturale avec de bonne matériaux et le bon choix de ces emplacement afin de minimiser le plus possible la consommation de ces énergies artificielles et réduire le bilan énergétique et celui économique des projets.

## Conclusion

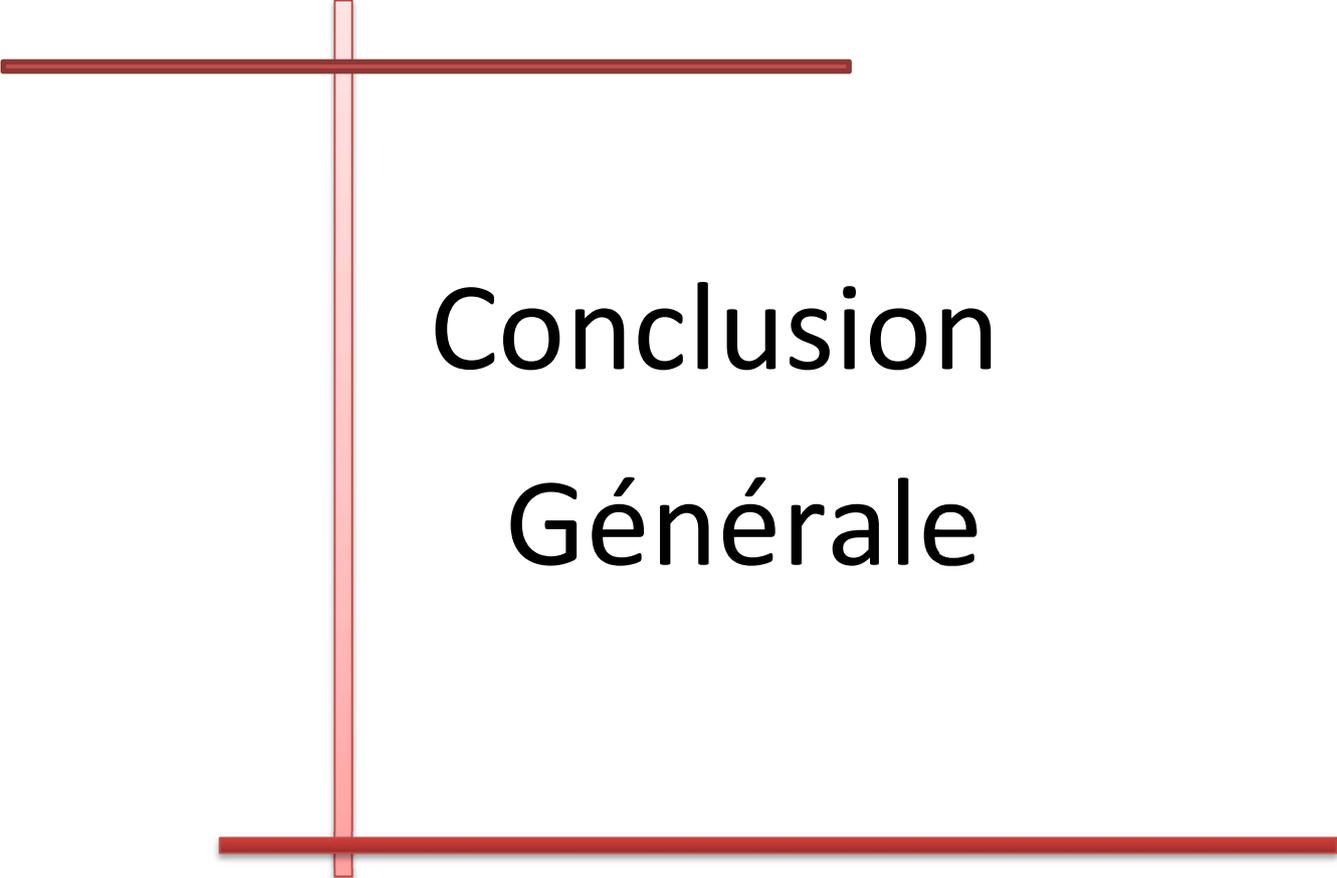
Cette étude a été achevée par le logiciel de simulation ARCHIWIZARD. J'ai présenté quatre scénarios de simulation pour évaluer l'état de confort thermique et énergétiques à l'intérieur de la chambre de l'hôtel Cristal situé dans la wilaya de Bejaia. Le premier cas c'était l'état initial du bâtiment avec la présence des matériaux classiques comme la brique, le mortier en ciment, la céramique et même les vitrages simples. Tandis que, le reste des scénarios ont été simulé avec l'inclusion de matériaux de source naturel plus performants (laine de bois, panneau en bois, et le double vitrage), afin de distinguer la différence et comprendre le rôle des caractéristiques des matériaux dans la régularisation de la température ainsi que dans la réduction du bilan énergétique.

En résultant de ces études les conclusions suivantes :

- L'utilisation des doubles parois en brique comme protection extérieure n'est pas assez efficace pour assurer un confort thermique et une efficacité énergétique à l'intérieur des locaux.
- L'intégration d'un isolant thermique (laine de bois) contribue énormément à la fois dans la stabilité des valeurs des températures internes au cours de l'année, ainsi à la diminution des pertes de chaleur dans l'ensemble de l'enveloppe de la bâtisse.
- L'emplacement de l'isolant thermique, depuis l'extérieur ou l'intérieur, a un grand impact en termes de déperdition de chaleur par l'ensemble des pontes thermiques.
- L'installation des baies vitrées de double vitrage à la place des simples vitrages, collabore amplement à la limitation des déperditions de chaleur par les parois vitrées, qui participera notamment à la régularisation du taux des besoins énergétiques dans l'édifice.

En fin, le meilleur scénario parmi ceux présentés ci-dessus est bien évidemment le dernier qui se compose de :

- Panneau en bois comme revêtement de l'intérieur.
- L'isolant thermique (laine de bois) déposé depuis l'extérieur.
- Baies vitrées en double vitrage.



# Conclusion Générale

### Conclusion générale

La problématique d'efficacité énergétique (chauffage et refroidissement) et du confort thermique à l'intérieur des équipements hôtellerie en Algérie désormais à une grande importance, notamment dans les espaces vivables très sensibles à l'intérieur de ce genre d'édifice. Cependant ces comportements énergétiques et thermiques dépendent des conditions climatiques ainsi des matériaux dont l'enveloppe est constituée.

De plus, notre pays a connu récemment un envol considérable dans le domaine de réalisation des bâtiments, mais l'intégration du concept d'efficacité énergétique est rarement prise en compte dans leurs projets. Cependant, cette situation a fait créer des insuffisances non négligeables sur le programme qualitatif de ces constructions, d'où les problèmes surconsommation d'énergies et d'inconfort (chauffage et ventilation) ont pris de l'ampleur.

Du coup, le choix des matériaux ainsi leurs emplacements au niveau de l'enveloppe de la bâtisse, représentent un enjeu important pour la réduction des besoins énergétiques dans le domaine constructif. C'est dans ce champ que se rédige mon travail, en essayant d'aborder la problématique énergétique par une stratégie de se rapprocher vers la zone du confort thermique avec minimum d'énergie consommée, dans le but de recommander une conception moderne et fonctionnelle des infrastructures d'hôtellerie en intégrant la notion d'écologie et de la durabilité afin de réagir à l'avantage de l'environnement.

Ainsi que, des aboutissements d'ordre architectural et bioclimatique sont procurés afin de garantir un degré de confort satisfaisant sans aucune dépense excessive d'énergie. Toutefois, l'accent est mis sur l'étude des caractéristiques de matériaux à intégrer dans le processus de conception des projets architecturaux pour mieux profiter des gains naturels sans dépenser autant d'énergie néfaste pour ne pas affecter l'environnement naturel.

Dans cette prospection, les simulations numériques réalisées par le logiciel ARCHIWIZARD ont été choisies comme outil et technique de recherche. Cependant, elle m'a permis de faire une simulation pour mon cas d'étude dans son état initial pour but de vérifier l'évolution de multiples paramètres tels que la température opérative intérieure, les déperditions de chaleurs et les besoins énergétiques (chauffage et refroidissement). En deuxième position, elle m'a permis de vérifier l'effet d'introduire une série de matériaux naturels écologiques à base de bois et de verre (laine de bois, panneau en bois, vitrage double) sur les paramètres cités en haut et de comparer les résultats obtenus entre les différentes simulations.

D'après l'analyse et l'interprétation des résultats des simulations et d'investigation ainsi les informations de base collectées dans la partie théorique du présent travail, en résulte que les matériaux et leurs caractéristiques ont un effet considérable sur le confort thermique et sur le taux des besoins énergétiques en matière de chauffage et de refroidissement. Du coup, ces matériaux participent à la fois à l'amélioration de l'étanchéité des parois face à l'air, limitation des pertes de chaleur par les ponts thermiques, amélioration de l'inertie thermique de

## CONCLUSION GENERALE

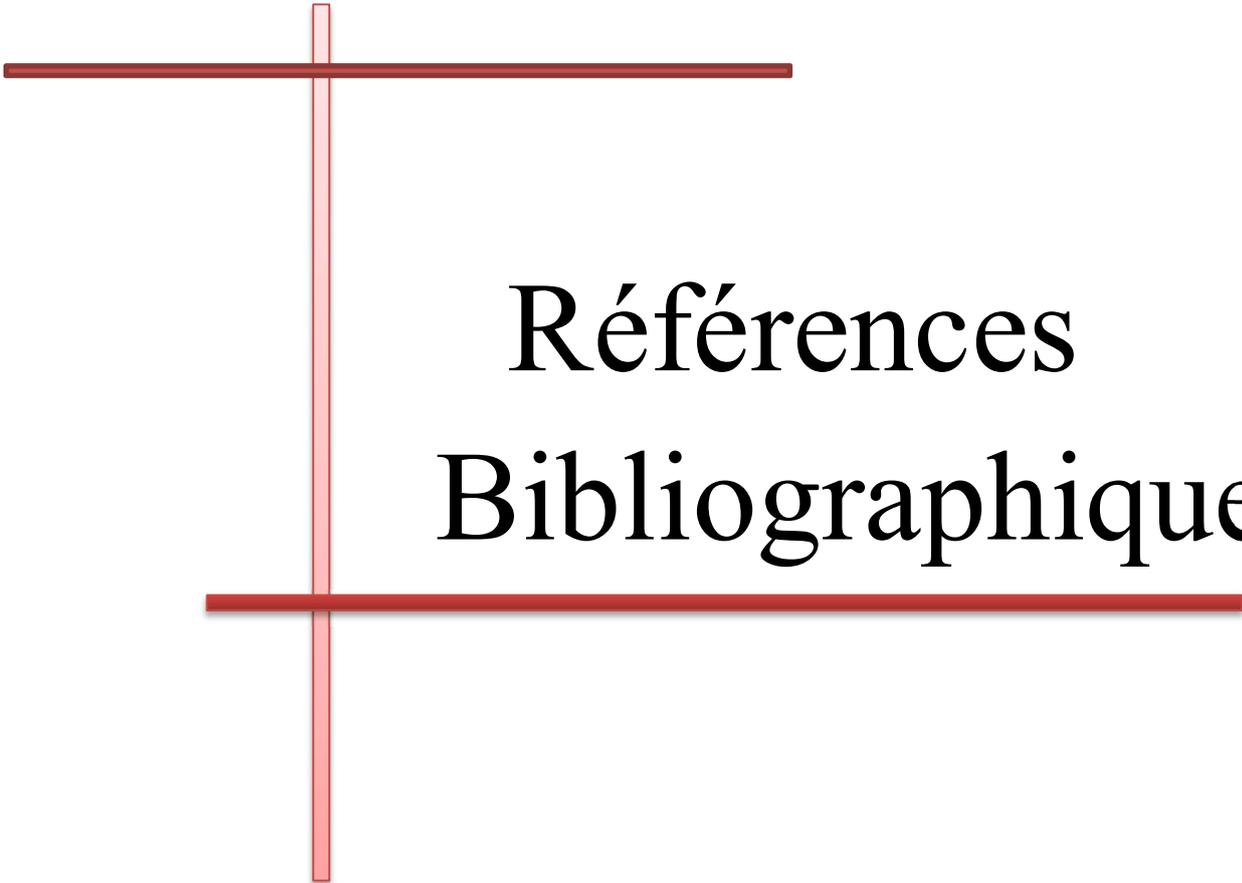
l'enveloppe, assurer de plus en plus le confort thermique à l'intérieur des locaux et contribuent encore dans l'économie des énergies non-renouvelables.

Au final, quelques paramètres, exigences et recommandations doivent nécessairement être pris en considération dès la conception de ce type de projet.

Alors en recommande :

- L'orientation et la forme de projet et l'aménagement des espaces intérieurs doivent être bien réfléchis pour bénéficier pleinement des apports naturels gratuits (solaire).
- L'orientation SUD et SUD-OUEST est la plus défavorable, car c'est celle qui offre le mauvais confort thermique surtout dans la période estivale.
- L'intégration des matériaux naturels de faible conductivité thermique et de grande capacité de stocker la chaleur permettent de réduire la consommation énergétique et de régulariser autant la température ambiante interne ainsi contribuent dans la préservation du l'environnement naturel.
- Les ouvertures doivent être bien dimensionnées, orientées et bien habillé par un type de vitrage adéquat par rapport à son positionnement qui affectera le choix de l'épaisseur et la couleur.
- L'utilisation d'un isolant thermique par l'extérieur et recommander afin de minimiser au maximum les ponts thermiques et diminuer les déperditions de chaleur, ce qui provoquera la simplification des facteurs de chauffage et de climatisation sans compromettre la génération d'un confort thermique dans l'espace architecturale.

Vers la fin, en conclu donc que la solution la plus idéale afin assurer le confort thermique et une réduction dans la consommation énergétique dans les projets architecturaux est l'intégration des matériaux saint et écologique très performants dont les caractéristiques intersectés correspondent à la situation du projet par rapport à son contexte environnemental avec une bonne décision dans le choix de l'emplacement de ces derniers au niveau du l'enveloppe.



# Références Bibliographiques

## Références bibliographiques

### I. Ouvrages

- **Akabli Moussa**, Formateur dans le BTP, DAO, Design graphique Concepteur de plan ARCHI & Blogueur, « *Nouveau béton flexible, plus résistant et plus durable* ». Article, 2021.
- **Alaine Liébard, André De Herde. 2006.** « *traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique* », ouvrage, guide de l'architecture bioclimatique. 146, rue de l'université 75007 paris.
- **Andreas Roye, Marijan Barlé et Gries Thomas**, “*Faser- und Textilbasierte Lichtleitung in Betonbauteilen*”, Aachen, Germany, Shaker Verlag, 2009 (ISBN 978-3-8322-7297-5).
- **Cécile Fizanne-Michel** « *Les alliages à mémoire de forme, une nouvelle famille de matériaux* » article, Publié le 2 juillet 2018.
- **D.T.R. C 3-2, 1997**, Document Technique Réglementaire-fascicule 1, ministère de l'habitat, Algérie.
- **Hamid Zeroub ET Mohamed Larbi.** « *Le verre dans le bâtiment* », Article publier sur (*mémoire online 2000-2020*), Université Mehmed Bougera Boumerdes - Ingénieurs d'état en génie des matériaux. 2020.
- **Hilton**, Carpet Buyers Handbook, the, Quinstreet, Inc.2015.
- **Husseini, L. (2011)**, “*Sustainability in architecture*,” series of articles of the first climate forum, building, and optimization of energy consumption, Tehran.
- **Ignacy Sachs**, “*comment concilier écologie et prospérité*”, sur le monde diplomatique, décembre 1991.
- **Joël DE ROSNAY** « *les matériaux intelligents* » Texte de la 278e conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 4 octobre 2000.
- **Kadolph, Sarja J., Langford, Anna L.**, (2002), Textile, Ninth Edition. Upper Saddle River, New Jersey 07458: Prentice Hall p 109-113.
- **Laurence stum.** « *Matériau a changement de phase* ». Revue. BASF France. 30/10/2006.
- **Martone, Pt. Estevez, Jm. Lu, F. Ruel**, (Jan 2009). "Discovery of Lignin in Seaweed Reveals Convergent Evolution of Cell-Wall Architecture» Current biology: CB. doi:10.1016/j.cub.2008.12.031
- **McLellan, B. C, Williams, R. P, Lay, J., Arie van Riessen, A. et Corder G. D.**, (2011), “*Costs and carbon emissions for geo-polymer pastes in comparison to ordinary Portland cement*” Journal of Cleaner Production, 19, 1080-1090
- **Song G., Ma N., Li H.N.** « *Applications of shape memory alloys in civil structures* », Engineering and Structure, 2006, 28 1266-74.
- **SZOŁOMICKI Jerzy** “*Application of Smart Materials in Civil Engineering and Architecture*”, Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw 50-370, Poland.2020
- **Tran H., Balandraud X., Destrebecq J.F.** « *Improvement of the mechanical performances of concrete cylinders confined actively or passively by means of SMA wires* », Civil and Mechanical Engineering, 2015, 292-299.
- **Torabi, H., Roshan, M. (2015).** “*The application of smart materials in the architecture of green buildings*,” the series of articles of the first annual conference of architectural research, urban and urban management.

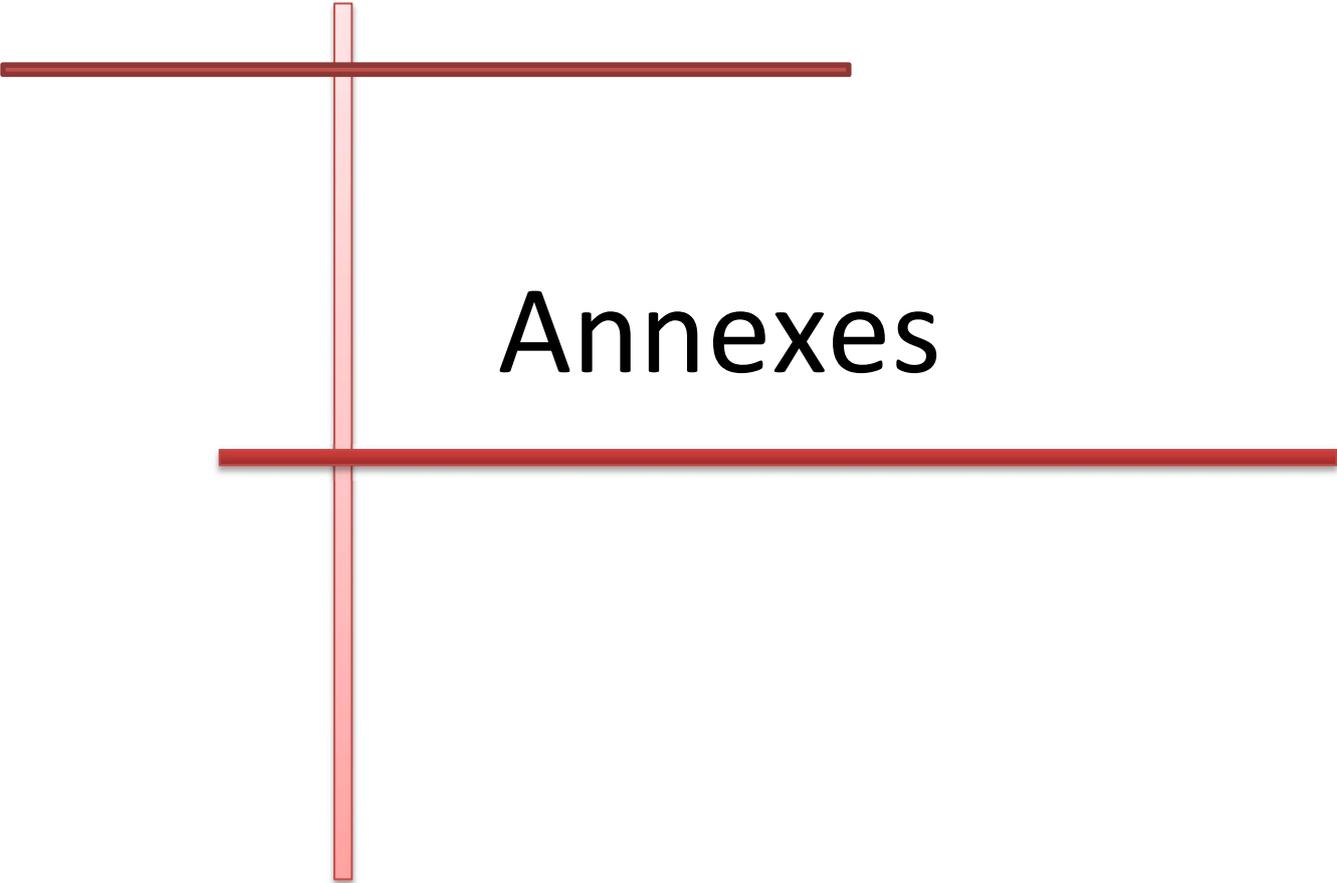
## II. Thèse de doctorat et mémoire de Magister

- **Adoum Waibaye** « *Création de structures actives à l'aide d'alliages à mémoire de forme* », Autre. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2016. Français.
- **Ahlam Khalef, Lemya Khalil. Salima Hamrich**, (2019), « *La performance thermique de la façade ventilée dans les infrastructures de transport* ». Mémoire, filière d'architecture, université Mohammed Seddiki, Jijel.
- **Benkhedda Samira**, 2012, « *Simulation multi agents d'un comportement humain face à une situation d'urgence* », Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, Université des sciences et de la technologie d'Oran, p 13.
- **Chetouh Samir**, « *caractérisation mécanique des matériaux intelligents de type magnétostrictifs et leur application* » Mémoire, université de Constantine, 2010, Algérie.
- **Herbert G.** « *Contribution à la durabilité des câbles de Génie Civil vis-à-vis de la fatigue par un dispositif amortisseur à base de fils NiTi* », Thèse, Université de Bretagne Sud, 2014.
- **Khadraoui M. Amine**. 2019, «*Etude et optimisation de la façade pour un confort thermique et une efficacité énergétique* », Thèse, Doc. Architecture. ∴ Université, M Khider-BESKRA. (P20-21).
- **Keikha, H. (2018)**, “The design of a residential complex in Yazd with a zero-energy“ approach (i.e., sustainable), a master's degree thesis, Islamic Azad University of Zahedan.
- **Kiomarsi, V., Ahmadipour, F.** (2001). “*Smart architecture*”. A Master's degree thesis, Tehran: Shahid Beheshti University.
- **Lamghairbat Yassine, Kerrou Abdessamad, Arammaz Salim.** « *Panneaux solaire photovoltaïques* », rapport, génie électrique. 2annes cycle d'ingénieur. (P11-2015-2016).
- **Letiet Mohammed cherif** (2019), Amélioration des microclimats des villes par la prolifération de terrasses et toitures végétalisées en zones aride et méditerranéenne, thèse de doctorat .université de Jijel, p130.
- **Morteza Mahmoudian, Parisa Sharifikheirabadi** « uses of new/smart materials in the green building with sustainability concerns”, Memoir, Universality of Yazd, Yazd, 2020, IRAN.
- **Otero K.** « *Intelligent reinforced concrete structures using shape memory alloys* », Thesis, University of Houston, 2004.
- **V. Wiktor ET H.M. Jonkers.** « *Un nouveau béton auto-cicatrisant grace à incorporation de batteries* », Delft, University of Technology, Faculty of Civil Engineering & Geosciences, Section of Materials & Environment –The Netherlands, 2011.
- **ZAHZOUH Amina**, « *centre de réadaptation et de prise en charge des malades d'Alzheimer, Tlemcen* », Mémoire, université BOUBELKAÏD- TLEMEN, 2017 (p21, 15001-T-12).

### III. Site Web

- [1] Plan d'exécution, programme national de recherche 62. 2008. Matériaux intelligents [en ligne]. Consulter le 12/01/2021. « URL : <http://www.pnr62.ch/fr/actualites-media/publications> »
- [2] Marc zaffagi. 2021. Architecture bioclimatique. [En ligne]. Consulter le 12/01/2021. «URL:<https://www.futura-sciences.com/tech/personnalites/tech-marc-zaffagni-1351.html> »
- [3] ClimaMaison. Le guide expert du confort thermique.2021. Puits canadien [en ligne]. Consultée le 07/02/2021. « URL :<https://www.climamaison.com/lexique/puits-canadien.html> »
- [4] Panneau solaire photovoltaïque. 2008. Fonctionnement et installation [ligne]. Consulter le 08/02/2021. « URL : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/panneaux-solaires-photovoltaiques.html> »
- [5] Arnaud Bouvard. 2021. Le petit éolien pour les particuliers, l'éolienne domestique [en ligne]. Consulté le 09/02/2021. « URL: <https://www.energies-ouvelles.net/eolienne-domestique-petit-eolien.html> »
- [6] EOLIENNE pour particulier. 2020. Une éolienne pour votre maison ? C'est possible! [en ligne]. Consulté le 09/02/2021. « URL : <https://www.eolienne-particulier.info/eolienne-maison.html> »
- [7] Arnaud Bouvard. 2021. Le petit éolien pour les particuliers, l'éolienne domestique [en ligne]. Consulté le 09/02/2021. « URL: <https://www.energies-nouvelles.net/eolienne-domestique-petit-eolien.html> »
- [8] Mesure de vent avant la mise en place d'une éolienne. 2015. [en ligne]. Consulté le 11/02/2021. « URL : <http://matdemesure.e-monsite.com/pages/pourquoi-une-mesure-de-vent.html> »
- [9] Jean-Hubert SCHMITT. 2017. Durcissement des aciers Austénite. En ligne. Consulté le 14/02/2021. « URL : <https://www.technique-ingénieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/methodes-de-caracterisation-et-d-analyse-des-metiaux-et-alliage-42532210/durcissement-des-aciers-m4342/> »
- [10] Larousse dictionnaire. Actionneur definition. En ligne. Consulté le 15/02/2021. « URL : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/actionneur/934> »
- [11] Du béton photovoltaïque pour des bâtiments producteurs d'énergie. 2015. [en ligne]. Consulté le 17/02/2021. « URL : <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/du-beton-photovoltaique-24692.html> »
- [12] Chantier de France. 2017. Matériaux- les bétons du futur sortent des éprouvettes [en ligne]. Consulté le 17/02/2021. « URL : [www.chantiersdefrance.fr/marches/materiaux-betons-futur-sortent-eprouvettes.html](http://www.chantiersdefrance.fr/marches/materiaux-betons-futur-sortent-eprouvettes.html) »
- [13] Akabali Moussa. 2020. Nouveau béton flexible, plus résistant et plus durable. [En ligne]. Consulté le 17/02/2021. « URL : <https://btp-cours.com/nouveau-beton-flexible-plus-resistan.html> »
- [14] Batirama. 2017. Le béton se veut intelligent et plus propre. [En ligne]. Consulté le 17/02/2021. « URL : <http://www.planete-tp.com/les-betons-auto-nettoyants-et-depolluants-a2195.html> »
- [15] Ooreka maison. Matériaux de construction : béton translucide. [En ligne]. Consulté le 17/02/2021. « URL : <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/651225/beton-translucide> »

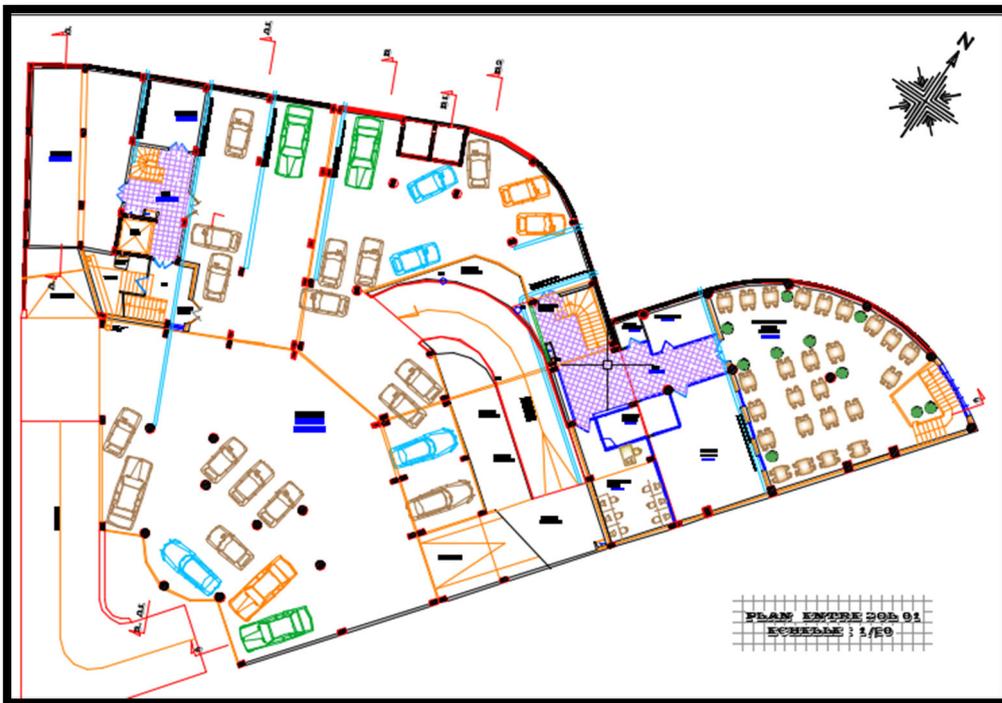
- [16] M. Adeline. 2019. Qu'est-ce que le vitrage photovoltaïque. [En ligne]. Consulté le 19/02/2021. « URL : <https://total.direct-energie.com/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/energie-renouvelable.html> »
- [17] Quelle Energie. Les vitrages photovoltaïques transparents débarquent. [En ligne]. Consulté le 20/19/2021. « URL : <http://www.quelleenergie.fr/magazine/energie-solaire/vitrages-photovoltaiques-transparents-41991.html> »
- [18] Guidefenetre. 2020. Vitrage opacifiant: protégez votre intimité. [En ligne]. Consulté le 20/19/2021 « URL : <https://www.guidedefenetre.com/guide/vitrage-opacifiant.html> »
- [19] Eric cloes. 2014. Quels sont les avantages et les inconvénients du vitrage opacifiant. [En ligne]. Consulté le 20/02/2021. « URL : <https://www.jevaisconstruire.be/quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients-du-vitrage-opacifiant.html> »
- [20] Marie-caroline loriqet. 2011. Le vitrage autonettoyant. . [En ligne]. Consulté le 22/02/2021.«URL:<https://www.batirenov.com/construction-renovation/menuiserie/le-vitrage-autonettoyant-les-avantages-et-inconvenients.html> »
- [21] Peter Larsson.2021. Un bois transparent qui isole de la chaleur. [En ligne]. Consulté le 22/02/2021. « URL: <https://www.futura-sciences.com/maison/actualites/decoration-woodoo-bois-augmente-rendu-translucide-69616.html> »
- [22] Une nouvelle brique intelligente pour réguler le logement. 2013. [En ligne]. Consulté le 21/02/2021. « URL: <https://www.consoglobe.com/argio-brique-intelligente-construction-cg.html> »
- [23] Le moniteur. Une plaque de plâtre antichoc, antibruit et dépolluante. [En ligne]. Consulté le 21/02/2021. «URL : <https://www.lemoniteur.fr/article/une-plaque-de-platre-antichocs-antibruit-et-depolluante.1903744.html>»
- [24] Peinture tendance.2021. Zoom sur les peintures intelligentes et écoresponsable. [En ligne]. Consulté le 23/02/2021. « URL : <https://www.peinturetendance.fr/zoom-sur-les-peintures-intelligentes-pxl-12.html> »
- [25] Anicet Mbida. Olikrom, la peinture intelligente. . [En ligne]. Consulté le 21/02/2021. « URL : <https://www.olikrom.com/bordeaux-olikrom-la-peinture-intelligente-sur-europe1.html> »
- [26] Binette et jardin.2021. La peinture anti-bruit : caractéristiques et efficacités. [En ligne]. Consulté le 23/02/2021. « URL : <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2877-peinture-anti-bruit.html> »
- [27] Créa concept. 2018. Peinture magnétique, dépolluante, isolante : le point sur la peinture intelligente. [En ligne]. Consulté le 23/02/2021. « URL : <https://www.crea-concept.fr/actualites/peinture-magnetique-depolluante-isolante-le-point-sur-la-peinture-intelligente.html> »
- [28] Graitec Lineis, 2021, optimisation énergétiques et environnemental. [En ligne]. Consulté le 22/03/2021. « URL : <https://fr.graitec.com/archiwizard/>»
- [29] Marie-Caroline. Le vitrage autonettoyant : les avantages et inconvénients. En ligne. Consulté le 12/02/2021. « URL: <https://www.batirenov.com/construction-renovation/menuiserie/le-vitrage-autonettoyant-les-avantages-et-inconvenients/> »
- [29]Géraline Marvheteau. 2017. Quels sont les matériaux dans l'architecture bioclimatique. En ligne. Consulté le 09/02/2021. « URL: <https://www.lenergiesoutcompris.fr/actualites-conseils/quels-sont-les-materiaux-dans-l-architecture-bioclimatique-48249.html> »



# Annexes

## I. Annexe mémoire

Annexe I : plan entresol du l'hôtel cristal.



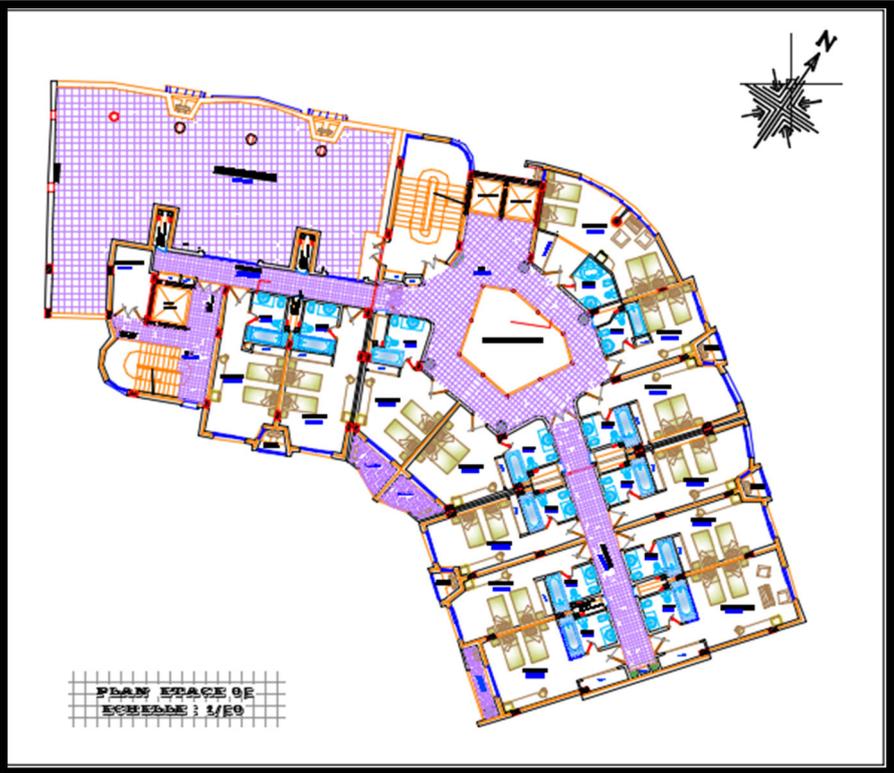
(Source : Bureau d'étude, 2004)

Annexe II : plan du RDC de l'hôtel cristal.



(Source : Bureau d'étude, 2004)

Annexe III : plan étage courant du l'hôtel cristal.



(Source : Bureau d'étude, 2004)

Annexe IV : plan de dernier étage courant du l'hôtel cristal.



(Source : Bureau d'étude, 2004)

Annexe V : Tableau des prises de mesures relevées au niveau du restaurant de l'hôtel cristal.

Les points de mesures	M1	M3	M2	M4	M5	M6	M7
09h	22.5	22.3	22.4	22.5	22.8	22.6	22.5
11h	25.1	25	25.2	25.4	25.6	25.7	25.4
13h	26	26.2	26.1	26.3	26.3	26.6	26.4
15h	24.5	24.7	24.6	24.8	24.8	24.9	25
17h	22.8	22.9	22.9	23	23	23.1	23.3
19h	21.8	21.9	21.8	22	22	22.1	22.1
21h	21	21	21	21.1	21.1	21.2	21.2

(Source : Auteur, 2021)

Annexe VI : Tableau des prises de mesures relevées au niveau de la chambre du l'hôtel cristal.

Les horaires de mesures	Au milieu de la chambre
09h	23.2
11h	27.1
13h	28.3
15h	26.9
17h	25.8
19h	25.4
21h	23.6

(Source : Auteur, 2021)

## II. Annexe projet final

### Analyse des exemples

Le travail de l'analyse des exemples a été effectué sur deux hôtels, le premier est un hôtel local situé au cœur de la capital d'Alger appelé également « Hôtel Safir », tandis que le deuxième est un exemple livresque qui s'agit du « l'hôtel Sémiramis » situé dans la banlieue riche de Kiphissia en Grèce.

### Synthèse d'analyse des exemples

Après avoir effectué une analyse sur les deux hôtels, j'ai fait un tableau de synthèse qui résume tous le programme fonctionnel des deux exemples avec les surface retenu ainsi les exigences requises pour chaque espace à l'intérieur d'un hôtel.

Annexe II.1 : Tableau de synthèse de l'analyse des exemples.

Fonctions	Activités	Espaces	Surfaces	Exigences	Illustration
<b>I- ZONE PUBLIC</b>  <b>ACCUEIL</b>	Accueillir	Entrée principale	/	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Porte monumentale aperçue de loin et attirante.</li> <li>- Ben éclairée jour et nuit.</li> <li>- Prendre en considération les handicapés.</li> </ul>	
	Recevoir	Le hall	6 à 12m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espace vaste et bien éclairé,</li> <li>- Il est souvent en double hauteur.</li> <li>- Animer par des ambiances vivantes telles que l'eau et la végétation.</li> </ul>	
	Informers	La réception	10-15m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espace à proximité de hall avec une ambiance colorée.</li> <li>- Elle doit être vue à partir de l'entrée principale</li> </ul>	

	Attendre	Le salon d'attente	20-30m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equiper de fauteuils et des tables confortables.</li> <li>- Ambiances vivantes (revêtement de sol, couleurs des murs, style des meubles,...).</li> <li>- Eclairage naturel et artificiel.</li> </ul>	
	Satisfaire des besoins	Les sanitaires	15-25m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A proximité de hall.</li> <li>- Sanitaires pour femmes et pour hommes.</li> <li>-Prendre en considération les handicapés.</li> </ul>	
<b>RESTAURATION</b>	Manger	Restaurant + Terrasse	80-100m <sup>2</sup> 80-100m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equiper par des tables et des chaises.</li> <li>- Eclairage naturel et artificiel.</li> <li>- Il faut des vues panoramique vers l'extérieur</li> </ul>	 
	Apprécier Prendre de café	Salon de thé Cafeteria	40-50 m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévoir des espaces verts pour participer à la décoration.</li> <li>- Eclairage doux,</li> <li>-Ambiance agréable à l'intérieur par l'utilisation des matériaux modernes.</li> </ul>	
	Manger et Boire	Bar-restaurant	80-100m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doter un bar (comptoir avec des tabourets).</li> <li>- Equiper avec des tables et des chaises,</li> <li>- Eclairage artificiel.</li> <li>-Doit être en relation directe avec le restaurant.</li> </ul>	

	Cuisiner Préparer	Cuisine	25-30 m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Organisé selon la spécialité et les différents services de préparation.</li> <li>-Relié directement avec les espaces de stockage et les espace de manger.</li> </ul>	
	Boire	Bar	40-50m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolation phonique.</li> <li>-Un comptoir de forme organique.</li> <li>- Eclairage artificiel varie.</li> <li>- Equiper par des tabourets.</li> </ul>	
	Manger	Cantine Pour employés	40-60m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas forcément décoré.</li> <li>-Elle sera isolé spécifiquement pour les employés.</li> <li>-Elément fonctionnel nécessaire.</li> </ul>	
<b>LOISIRS ET DETENTE</b>	Nager	Piscine	40-50m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'intérieur doté d'un éclairage artificiel.</li> <li>- Revêtement spéciale contre l'humidité.</li> <li>- doter d'une terrasse aménagée par des tables et des chaises.</li> </ul>	
	Faire du sport	Salle de remise en forme	40-60m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Salle doté de différents appareils de remise en forme (fitness et musculation).</li> <li>- Doter d'un vestiaire hommes et femmes.</li> <li>- Doter d'une douche hommes et femmes.</li> </ul>	
	Passer un bon moment	Jardin	80- 100m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Espace bien aménagé avec des tables et des chaises.</li> <li>-Doté d'une végétation adéquate.</li> <li>-Installation des espaces d'eau</li> </ul>	
	Fêter	Salle des fêtes	50-70m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Avoir un accès de l'intérieur et de l'extérieur.</li> <li>-Espace avec une isolation phonique.</li> <li>-Equiper des chaises, des tables, des fauteuils,...</li> <li>-Eclairage artificiel</li> </ul>	

<b>SERVICES COMMERCIALS</b>	Acheter	Boutique		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Vente tabac et journaux.</li> <li>-Vente tableaux de peintre.</li> <li>-Vitrine transparente avec une décoration moderne.</li> </ul>	
	Renseigner pour les voyages Réserver	Agence de voyage	15-20m <sup>2</sup>	-Pour les différentes réservations pour les voyages à l'intérieur et à l'extérieur de pays.	
	Louer une voiture pour le séjour	Agence de location de voiture	15-20m <sup>2</sup>	- Location de voitures pour les clients pour leurs séjours dans le pays.	
	Retirer et échanger d'argents.	Annexe de banque	15-20m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permettre aux clients de retirer l'argent.</li> <li>-Permettre aux clients l'échange de monnaies.</li> </ul>	
<b>II- ZONE SEMI-PUBLIC</b>  <b>AFFAIRES</b>	Animer des conférences	Salle de conférence	60-70m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Aménagée par des rangers de chaises dotés de petites tables.</li> <li>-Equiper par un écran et instruments de projections et des hauts parleurs.</li> <li>-Doter d'un bureau de gestion.</li> <li>- Isolation acoustique,</li> </ul>	 
	Réunir	Salle Des réunions	40-50m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Equiper par des tables et des chaises de bon conforme.</li> <li>-Eclairage naturel et artificiel.</li> <li>- Isolation acoustique</li> </ul>	 
	Exposer	salle d'exposition	20-30m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Espace réservé aux différentes expositions.</li> <li>-Espace éclairé naturellement pour mettre en valeur les différents objets exposés.</li> <li>-Eclairage artificiel.</li> </ul>	

	Travailler	Cyber Café	15-25m <sup>2</sup>	-Espace multimédia réservé aux ordinateurs et internet.	
<b>ADMINISTRATI ON</b>	Gestion du l'hôtel	Bureau de directeur	20-25m <sup>2</sup>	-Espace bien éclairé, -Espace avec isolation acoustique, -Bureau a cote de celui du secrétaire	
	Organisation	Bureau de secrétaire	15-20m <sup>2</sup>	-Bureau a cote de celui du directeur.	
	Sauvegarder	Bureau d'archive	10-15m <sup>2</sup>	-Bureau a cote de celui du secrétaire	
<b>I- ZONE PRIVEE</b>  <b>HEBERGEMENT</b>	* Dormir * Se reposer * Prendre un bain * Travailler	Chambre simple	15-20m <sup>2</sup>	-Prendre en considération les handicapés. -Equiper d'un lit de deux personnes confortable, de télévision, d'un téléphone, d'un espace de rangement, bureau pour travailler avec accès à internet. -Doté de sanitaire ; WC+ SDB. -Eclairage naturelle et artificiel. -Doté de balcon.	 
		Chambre double	20-25m <sup>2</sup>	-Prendre en considération les handicapés. -Même ambiance que la chambre simple, doubler les équipements. -Eclairage naturel et artificiel. -Les meubles seront placés près des murs ou intégrés pour avoir des espaces vastes et flexibles.	 

		Suite	30-40m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Espace plus grand et plus confortable qu'une chambre.</li> <li>-Doter d'un salon moderne équipé avec des mobiliers modernes et de luxe.</li> <li>-Ambiance vivante et chaleureuse avec l'utilisation des couleurs chaudes et froides.</li> <li>-Doter d'un coin de travail.</li> <li>-Elle profite d'une terrasse</li> </ul>	
--	--	-------	---------------------	--	---

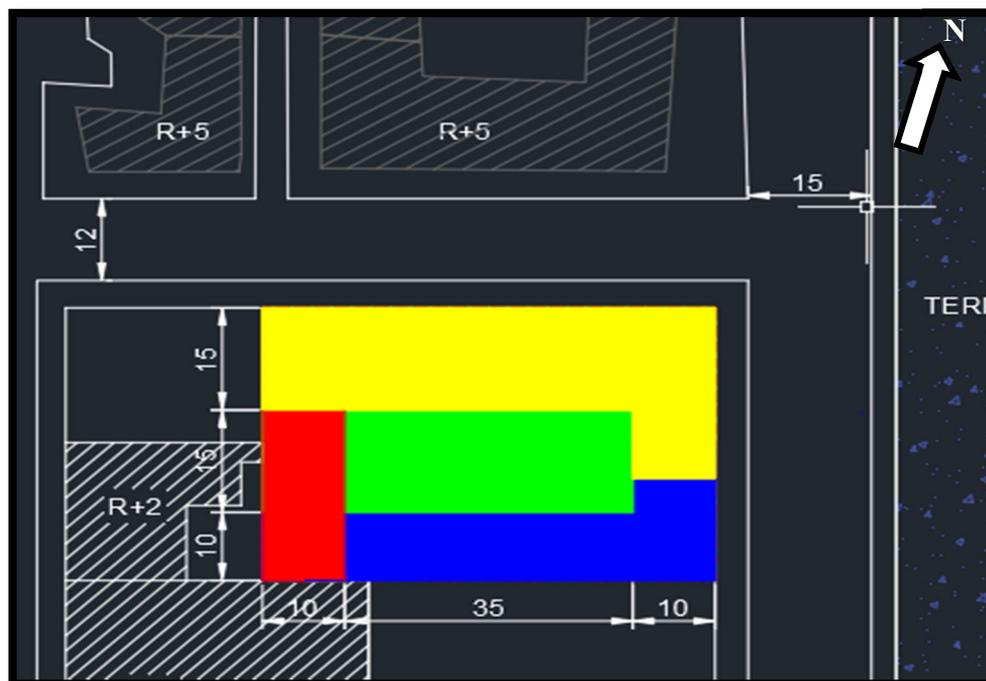
(Source : Auteur, 2021)

## Analyse de site

Le choix du terrain pour l'implantation du projet fin d'étude est tombé sur un terrain vierge situé dans le quartier de « Sidi Ali Levhar » à Bejaia tous près de la mer et de l'aéroport « Abbane Ramedhane ».

### Le shémas de synthèse de l'analyse du site

Après avoir effectué une analyse sur le terrain choisi en terme d'accessibilité, d'ensoleillement, des vents dominants, d'entourage bâti, des nuisances sonores ainsi sur la disponibilité des vues panoramique dans le site, j'ai élaboré un schéma de synthèse concernant la répartition global des espace à l'intérieur du site.



Annexe II.2 : Shémas de synthèse de l'analyse du site. (Source : Auteur, 2021)

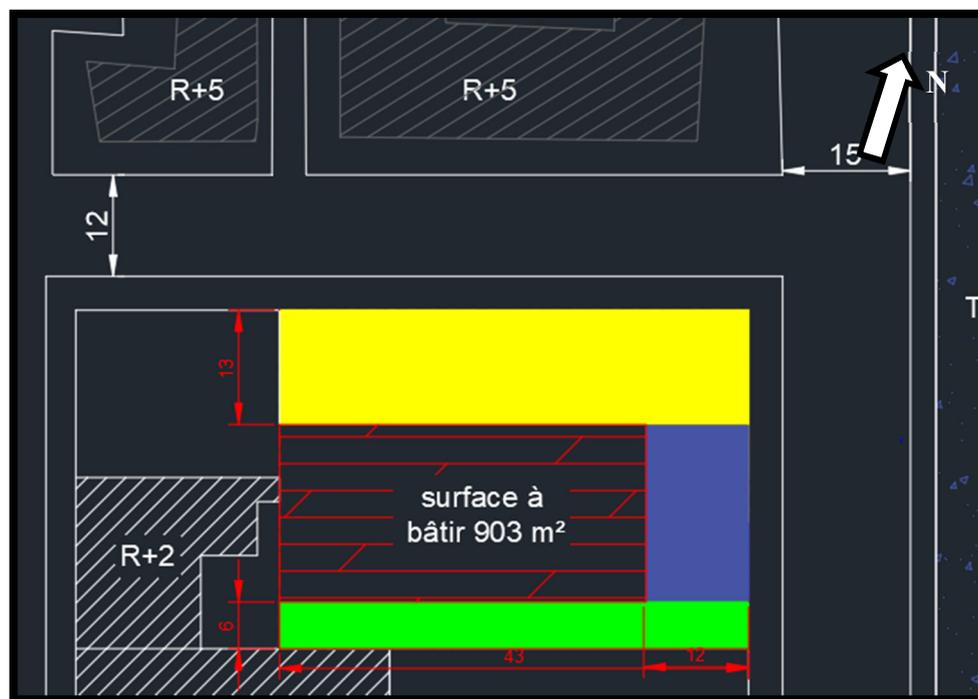
- |   |  |
|---|--|
|  | - Zone doit contenir des espaces humides et être protégé avec des brises solaires et de la végétation pour servir comme des brise pour les vents chaud, avec une très bonne isolation phonique et thermique (matériaux de faible conductivité thermique), ainsi de prévoir des terrasses pour profiter de la vue au côté sud-est avec la recommandation de poser des panneaux solaires sur ces dernières ou sur les façades. |
|  | - Zone doit contenir des espaces calmes non générateur de bruit qui non pas besoins d'une large période d'ensoleillement avec une façade aveugle vers l'ouest à cause de l'existence d'une bâtisse a propriété privé.  |
|  | - Zone dégager pour la circulation mécanique et piétonne puisque elle est en contact directe avec les deux voie délimitant le terrain (Nord et Est).   |
|  | - Zone relativement protégé des vents dominants par les bâtiments voisins, qui doit contenir éventuellement des terrasses et les chambres les plus luxueuses dans l'hôtel car elles seront loin de toute nuisance sonores avec la projection des brises de vue au niveau des façades. De plus cette zone est idéale pour les espaces en besoins d'un éclairage naturel.  |

## L'idée conceptuelle

Vue à la situation du terrain qui est auprès de la mer et de l'aéroport de Bejaia, en a voulu s'inscrire le projet final dans la notion du mouvement et d'action qui serait en harmonie avec son contexte. Cependant, d'après les mouvements architecturaux anciens à titre du « rococo et le baroque » la notion du mouvement est exprimée notamment par des courbes et des formes organiques que ce soit à l'extérieur ou à l'intérieur de l'œuvre architecturale. Pour ceci, en a opté donc pour une forme relativement organique qui va être en contraste avec son environnement immédiat et qui répond à la notion citée au-dessus, afin qu'elle soit distinguée par rapport au reste des édifices voisins, ainsi pour être la forme la plus adéquate pour la dissipation des forces des vents dominants présentés dans le site.

## La genèse de forme

Au premier lieu, on a de projeter tous les reculs nécessaires sur le terrain afin d'obtenir la surface dégagée à bâtir pour installation du projet.



Annexe II.3 : Première étape dans la genèse.

(Source : Auteur, 2021)



Réalisé un recul sur le côté Nord afin d'obtenir davantage des vues panoramiques vers la montagne de Gourara à cause du gabarit voisin en R+5, ainsi pour dégager l'espace pour la circulation piétonne et mécanique avec la projection du parking.



Prévoir un recul pour dégager aussi l'espace à la circulation mécanique et pour s'éloigner des bruits venant de la voie du l'Est.

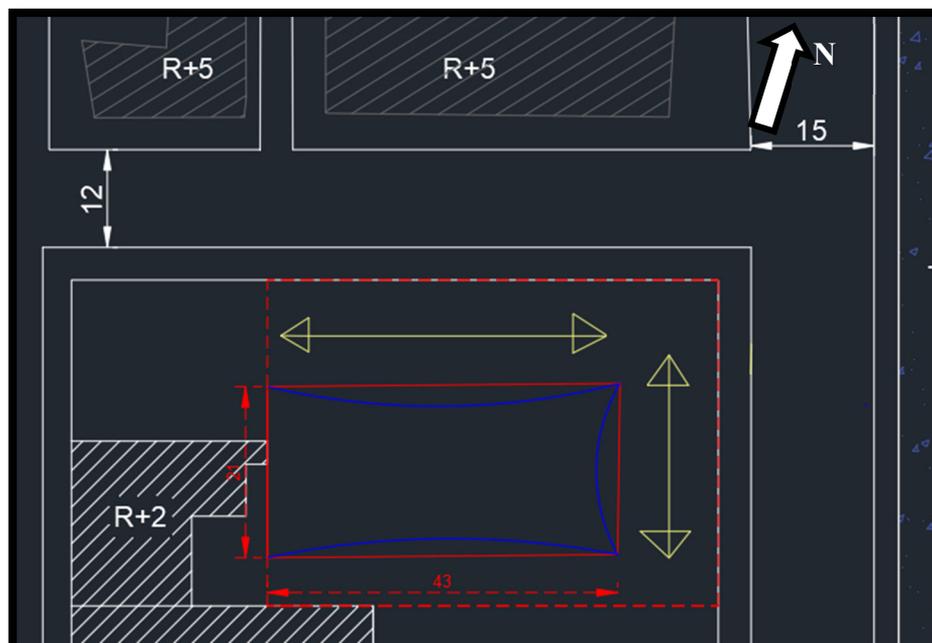


Faire un recul pour libérer de l'espace au jardin et à l'installation de la végétation contre les vents dominants chauds et les bruits provenant de l'aéroport.

Une fois l'étape première est achevée, on obtient donc la délimitation de l'assiette d'intervention afin de projeter quelque modification simple sur la forme extérieure pour répondre aux critères cités au-dessus. Du coup, on a fait courbée les façades externes pour avoir une forme organique à la base qui soit en contraste avec le contexte environnementale ainsi pour mieux dissiper la force des vents dominant du Nord et celles des Sud, ensuite cette forme concave à l'extérieure permette d'offrir une sensation de la bienvenue au clientèles, tous comme la fameuse place de « Saint Pierre » à Rome en Italie.

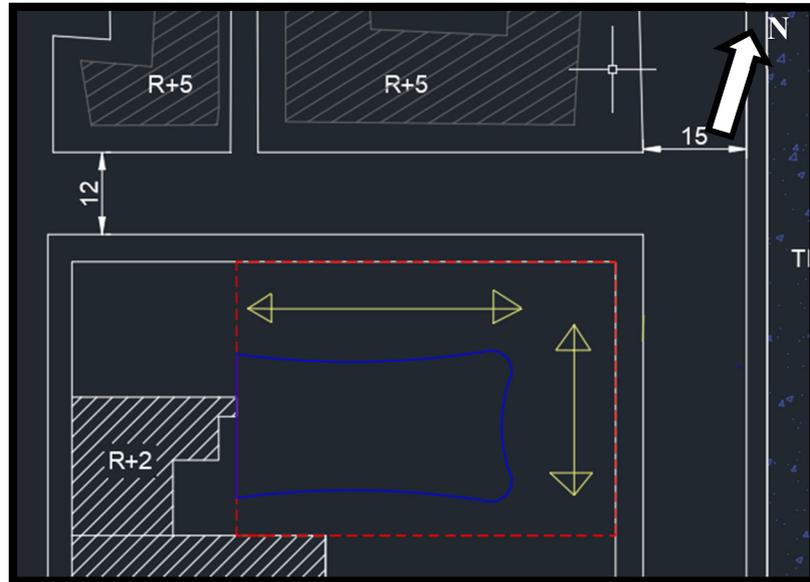


Annexe II.4 : la place saint pierre a rome.  
(Source : rome.roma.net)



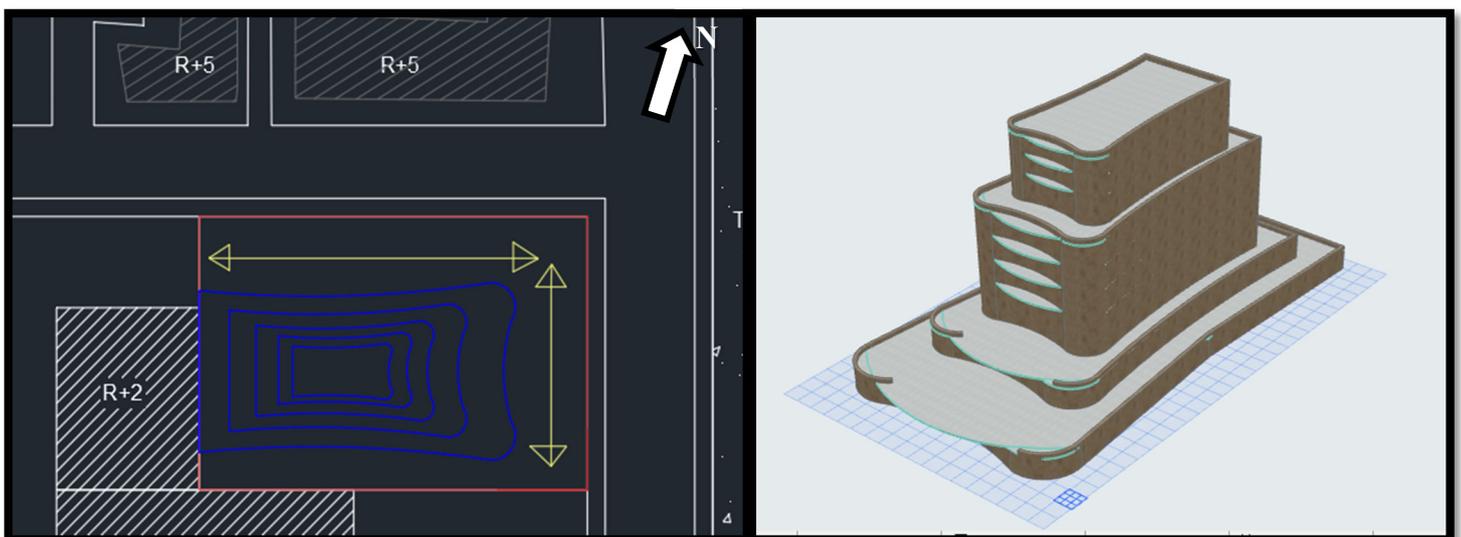
Annexe II.5 : Deuxième étape dans la genèse.  
(Source : Auteur, 2021)

Ensuite, faire ajuster les coins morts de la forme pour éliminer les angles aigus non fonctionnels et réalise une continuité dans l'ensemble de la forme externe, ainsi pour une raison technique qui s'agit de la suppression des ponts thermiques, l'un des responsables des pertes thermiques dans les espaces intérieur afin de provoquer une forme compacte favorisant la préservation et le stockage de chaleur.

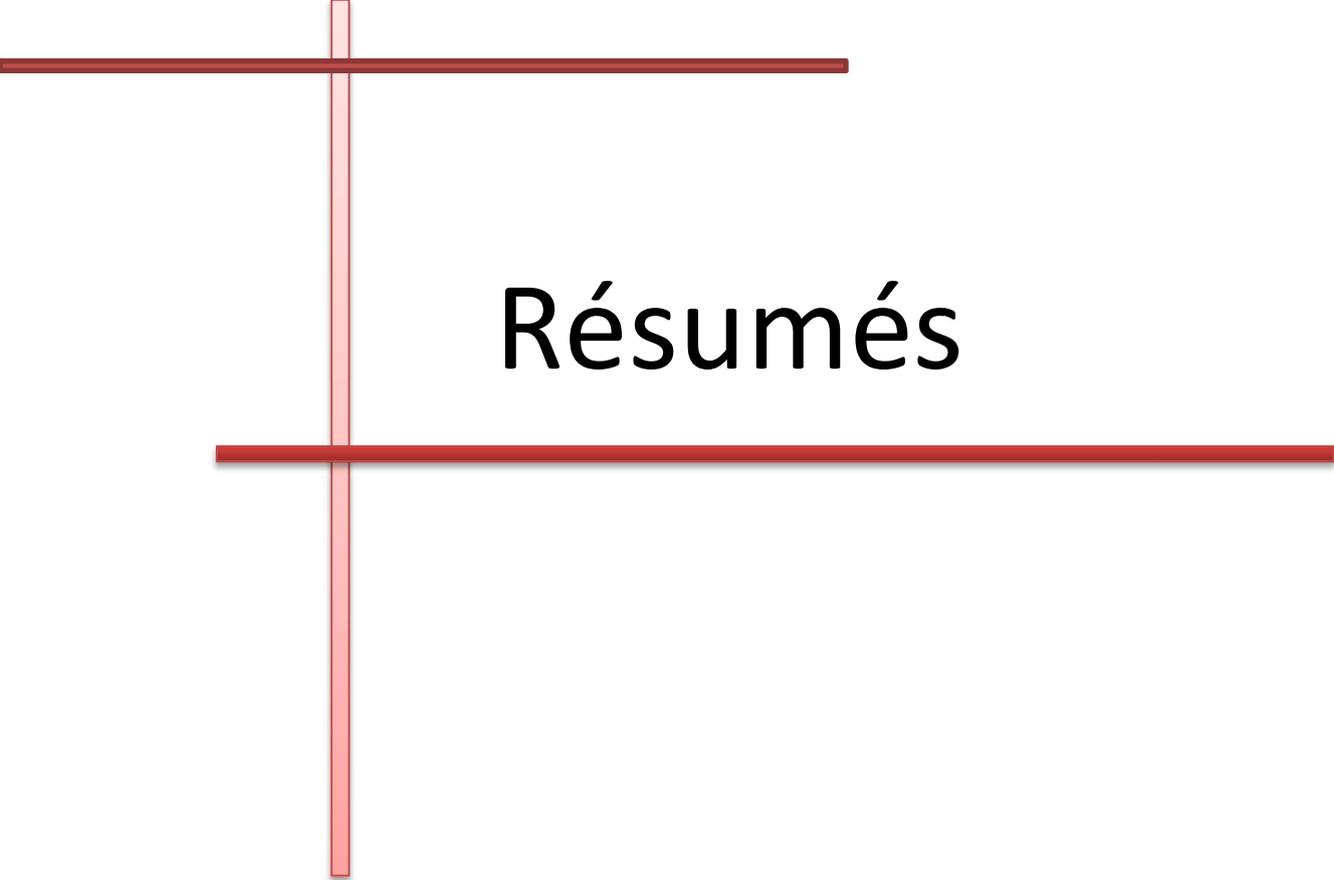


Annexe II.6 : Troisième étape dans la genèse.  
(Source : Auteur, 2021)

Au final, faire surmonter des étages de même forme que la base en graduation pour créer à chaque niveau des terrasses orientées vers les lieux naturels pour profiter des panoramas, ainsi pour donner la possibilité d'implantation de la végétation contre les vents et les bruits. De plus, pour éviter de générer de l'ombre sur la propriété du voisin située à l'Ouest. Pour se retrouver au final avec une forme qui exprime la notion du mouvement avec son rassemblement à des ondes en mouvement provoquant sur l'eau.



Annexe II.7 : Dernière étape dans la genèse avec la forme finale.  
(Source : Auteur, 2021)



# Résumés

## Résumé

Ce travail se concentre dans sa première partie sur l'étude d'une nouvelle génération de matériau appelé également « Matériaux Intelligents », qu'on peut intégrer notamment dans les conceptions architecturales bioclimatiques afin de minimiser au niveau du secteur constructif les achèvements énergétiques et de profiter au maximum des apports naturels provenant du site, afin de réagir toujours à l'avantage de l'environnement.

Du coup dans la deuxième partie, vue à l'indisponibilité de ces matériaux intelligents dans notre environnement immédiat, l'étude est focalisée en revanche sur l'impact des matériaux de bio-sources (écologique) sur le confort thermique et la consommation énergétique dans les infrastructures d'hôtellerie (espace restaurant et chambre). Cependant, à ce moment-là et avec le développement technologique la consommation énergétique est excessivement élevée notamment dans ce genre d'équipement qui contient un nombre important de clients qui doivent ressentir une meilleure qualité du confort pendant leurs séjours. Ceci nécessite donc un choix bien réfléchi de types de matériaux à introduire ainsi leur emplacement dans cette bâtisse, afin d'offrir une meilleure stabilité thermique à l'intérieur des espaces avec une consommation énergétique très raisonnable.

Au final, dans cette étude l'objectif s'est porté sur l'intervention des matériaux dit écologiques ainsi leur emplacement au niveau de l'enveloppe de l'édifice afin de constater leurs effets sur le confort thermique intérieur et la consommation énergétique. Pour ce fait, une investigation sur le terrain et une simulation fait par le logiciel « ARCHIWIZARD » sur une chambre orientée vers le sud dans l'hôtel Cristal de Bejaia, afin de mesurer les variations thermiques et énergétiques de cet espace pour élaborer ensuite des analyses numériques qui serviront à une évaluation globale des besoins énergétiques (chauffage et refroidissement) nécessitent pour assurer un confort thermique, d'où en propose des matériaux écologiques performants tel que la laine de bois, les plaques en bois et les doubles vitrages qui agissent à l'intérêt de ce confort en même temps que d'économie énergétique.

**Mots-clés :** matériaux intelligents, matériaux écologique, confort thermique, besoins énergétique, la consommation énergétique, simulation.

## Summary

This work focuses in its first part on the study of a new generation of material also called "Intelligent Materials", which can be integrated in particular in bioclimatic architectural designs in order to minimize at the level of energy in the construction sector and make the most of the natural inputs from the site, in order to always react to the advantage of the environment.

Suddenly in the second part, given the unavailability of these intelligent materials in our immediate environment, the study is focused however, on the impact of bio-source materials (ecological) on thermal comfort and energy consumption in hotel infrastructure (restaurant and room area). However, at this time and with technological development, energy consumption is excessively high, especially in this type of equipment which contains a large number of customers who must experience a better quality of comfort during their stays. This therefore requires a well-considered choice of types of materials to be introduced into this building, in order to offer better thermal stability inside spaces with very reasonable energy consumption.

In the end, in this study, the objective was to use so-called ecological materials and their location in the building envelope in order to see their effects on indoor thermal comfort and energy consumption. For this reason, an investigation on the reality and a simulation carried out by the software "ARCHIWIZARD" on the restaurant of the hotel Cristal in Bejaia, in order to measure the thermal and energy variations of this space to then develop numerical analyzes which will be used to an overall assessment of the energy needs (heating and cooling) required to ensure thermal comfort, hence efficient ecological materials such as wood wool, wooden panels and double glazing and its ideal locations which act in the interest of thermal comfort and saving energy.

**Keywords:** smart materials, ecological materials, thermal comfort, energy needs, energy consumption, simulation.

يركز هذا العمل في جزئه الأول على دراسة جيل جديد من مواد البناء تسمى "المواد الذكية" ، والتي يمكن دمجها بشكل خاص في التصاميم المعمارية للمناخ الحيوي من أجل تقليل استهلاك الطاقة على مستوى قطاع البناء و تحقيق أقصى استفادة من المدخلات الطبيعية من الموقع ، من أجل الاستجابة دائمًا لمزايا البيئة.

وفي الجزء الثاني ، نظرًا لعدم توفر هذه المواد الذكية في بيئتنا ، تركز الدراسة على تأثير مواد المصدر البيئي على الراحة الحرارية واستهلاك الطاقة في للفنادق (منطقة المطعم و الغرفة). و في هذا الوقت ومع التطور التكنولوجي ، يكون استهلاك الطاقة مرتفعًا بشكل مفرط ، خاصة في هذا النوع من البنايات الذي يحتوي على عدد كبير من العملاء الذين يجب أن يتمتعوا بجودة أفضل من الراحة أثناء إقامتهم. لذلك يتطلب هذا اختيارًا مدروسًا جيدًا لأنواع المواد التي سيتم إدخالها في هذا المبنى ، من أجل تقديم استقرار حراري أفضل داخل المساحات مع استهلاك معقول جدًا للطاقة.

و في النهاية ، كان الهدف هو استخدام مواد المصدر البيئي وموقعها في غلاف المبنى لمعرفة تأثيرها على الراحة الحرارية الداخلية واستهلاك الطاقة. لهذا السبب ، تم إجراء تحقيق على الواقع ومحاكاة بواسطة برنامج "ARCHIWIZARD" في مطعم فندق « Cristal » في بجاية ، من أجل قياس التغيرات الحرارية والطاقة لهذه المساحة ثم تطوير التحليلات العددية التي ستستخدم لتقييم شامل لاحتياجات الطاقة (التدفئة والتبريد) المطلوبة لضمان الراحة الحرارية . حيث نقترح استخدام مواد المصدر البيئي (مواد بيئية فعالة مثل الصوف الخشبي والألواح الخشبية والزجاج المزدوج) مع إختيار دقيق لموقعها التي سيسمح العمل لصالح الراحة الحرارية وتوفير الطاقة.

**الكلمات المفتاحية :** المواد الذكية ، مواد المصدر البيئي ، الراحة الحرارية ، احتياجات الطاقة ، استهلاك الطاقة ، المحاكاة.