



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département d'Architecture

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la Ville

Filière : Architecture

Spécialité : ARCHITECTURE

Thématique : Architecture, Environnement et Technologies

Soutenu par :

HAIAG Zineb

Le 18 novembre 2024

**Le thème : les techniques constructives de l'enveloppe
d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud
et sec. Cas d'une bibliothèque public**

Jury:

M	Dakhia Azzedine	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Mme	Boukhabla Moufida	MCA	Université de Biskra	Président
M	Ben farhat Med Aladaoui	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Allah de m'avoir accordé la volonté, la patience et la force nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur de mémoire **Dr. Dakhia Azzedine**, qui a toujours fait preuve d'attention et de disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail. Son aide précieuse, ses orientations éclairées et le temps qu'elle m'a généreusement accordé ont été essentiels.*

*Mes vifs remerciements s'adressent également au **Dr. Boukhabla Moufida** et **Dr. Ben Farhat Mouhamed Adaoui** pour leurs précieux commentaires qui ont contribué à l'organisation de travail.*

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de mon parcours académique.



Dédicaces

Louanges à Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a accordé la grâce de vivre ce moment tant attendu.

*Je dédie ce travail à mes précieux parents. Il n'existe pas de mots assez puissants pour exprimer ma profonde gratitude envers mon **cher père** et ma **chère mère**. Leur amour, leur patience et leurs sacrifices sont gravés dans chaque page de ce document, tels des piliers invisibles qui soutiennent tout ce chemin parcouru. Aucun hommage ne saurait refléter la grandeur de leur amour ni de leurs efforts pour moi. Que Dieu leur accorde santé et longue vie.*

À toute ma famille, mes frères Mostafa, Mouhamed et Haroune mes sœurs Rym, Amina, Lina et Oumaima, mes amies Yaakoub Dounia et Ounis Meriem vous avez été mon refuge, toujours présents pour m'apporter soutien et réconfort. Vos encouragements ont été comme un phare dans la nuit, m'apportant la force et le courage de persévérer. Que Dieu le Tout-Puissant veille sur vous et vous comble de santé et de bonheur.

*♥♥À mes petites anges **Nizar et Imane** . ♥♥*

*À mon mari **RABAH** : mon pilier et ma source de force. Que Dieu veille toujours sur lui et le protège pour moi.*

À tous ceux qui sont chers, mes collègues Ilyes , Fouad, et à ceux qui lisent ce mémoire avec intérêt

*À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce modeste travail, je vous adresse un grand «
MERCI »*



Résumé

L'architecture, autrefois centrée sur l'esthétique et la fonctionnalité des bâtiments, évolue désormais pour répondre aux exigences de durabilité, de confort et de respect de l'environnement. Face aux défis climatiques actuels, il est crucial que la conception architecturale prenne en compte non seulement la réduction de la consommation énergétique, mais aussi l'adaptation aux conditions climatiques locales. L'enveloppe d'un bâtiment, comprenant les murs, toits, fenêtres et portes, constitue une barrière essentielle contre les éléments extérieurs. Elle joue un rôle clé dans la régulation thermique et doit être conçue avec des matériaux écologiques comme le bois, la paille ou des composites recyclés. L'utilisation de techniques innovantes, telles que l'isolation thermique, la gestion des eaux pluviales et la ventilation naturelle, contribue à améliorer l'efficacité énergétique tout en réduisant l'empreinte carbone. En optimisant l'orientation du bâtiment, l'apport de lumière naturelle et la protection solaire, on parvient à créer des espaces de vie confortables, sains et économes en énergie. L'architecture bioclimatique, qui harmonise la construction avec l'environnement naturel, propose des solutions passives et durables pour maximiser le bien-être des occupants tout en anticipant les changements climatiques. En intégrant des pratiques durables dans la conception, il est possible de rendre les bâtiments plus résilients et d'assurer une qualité de vie supérieure pour les générations futures.

Les mots clés : matériaux et techniques constructive, enveloppe architecturale, architecture bioclimatique, le climat chaud et sec.

ملخص:

تتطور العمارة، التي كانت في السابق تركز على الجماليات ووظائف المباني، الآن لتلبية متطلبات الاستدامة والراحة واحترام البيئة. في مواجهة التحديات المناخية الحالية، من الضروري أن تأخذ التصميمات المعمارية في الاعتبار ليس فقط تقليل استهلاك الطاقة، ولكن أيضًا التكيف مع الظروف المناخية المحلية، بحيث يشكل الغلاف الخارجي للمبنى، الذي يتضمن الجدران، الأسطح، النوافذ والأبواب، حاجزًا أساسيًا ضد العناصر الخارجية. يلعب هذا الغلاف دورًا رئيسيًا في تنظيم الحرارة ويجب تصميمه باستخدام مواد بيئية مثل الخشب والقش أو المواد المركبة المعاد تدويرها. يساهم استخدام التقنيات المبتكرة، مثل العزل الحراري، وإدارة مياه الأمطار، والتهوية الطبيعية، في تحسين كفاءة الطاقة مع تقليل البصمة الكربونية. من خلال تحسين توجيه المبنى، وإدخال الضوء الطبيعي، وحماية الشمس، يمكن إنشاء مساحات معيشة مريحة وصحية وموفرة للطاقة. تقدم العمارة البيئية، التي تتسجم مع البيئة الطبيعية، حلولاً سلبية ومستدامة لتعزيز رفاهية السكان مع توقع التغيرات المناخية. من خلال دمج الممارسات المستدامة في التصميم، من الممكن جعل المباني أكثر مرونة وضمان جودة حياة أفضل للأجيال المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: مواد وتقنيات البناء، الغلاف المعماري، العمارة البيومناخية، المناخ الحار والجاف .

Table des matières

<i>Remerciements</i>	2
<i>Dédicaces</i>	3
Résumé	I
<i>Chapitre introductif</i>	IX
Hypothèses :	2
Les objectifs :	2
Méthodologie de la recherche :	3
<i>Chapitre théorique</i>	1
I Matériaux et techniques constructives de l'enveloppe architecturale :	6
I.1 La terre crue :	7
I.1.1 Caractéristiques :	7
I.1.2 Techniques d'application :	8
I.2 La pierre naturelle :	11
I.2.1 Caractéristiques :	12
I.2.2 Techniques d'application :	13
I.2.3 Conditions d'usage durables :	13
I.3 Le bois :	14
I.3.1 Caractéristiques :	14
I.3.2 Les techniques constructives de l'enveloppe architecturale en bois : ..	16
I.4 La paille :	20
I.4.1 Caractéristiques techniques de la paille :	20
I.4.2 Les différentes techniques de la construction en paille :	22
I.5 Le béton :	26
I.5.1 Caractéristiques :	26
I.5.2 Techniques constructives en béton :	28
I.6 L'acier :	33
I.6.1 Le matériau acier :	33
I.6.2 Caractéristiques et comportement mécanique :	33
I.6.3 Techniques d'application :	36
I.7 Le verre :	41

I.7.1	Notion de nouveau matériau :.....	41
I.7.2	Le matériau verre :.....	41
I.7.3	Principaux types de vitrage :	41
	Conclusion :	49
II	L'enveloppe architecturale :.....	50
II.1	La définition de l'enveloppe architecturale :	50
II.2	Le développement de la notion l'enveloppe à travers l'histoire :	51
II.3	Les types de l'enveloppe architecturale :.....	52
II.3.1	L'enveloppe porteuse :	52
II.3.2	L'enveloppe non porteuse :.....	52
II.4	Classification des enveloppes :.....	53
II.4.1	Selon le principe de fonctionnement :.....	53
II.4.2	Selon les matériaux de construction :.....	54
II.4.3	Selon le nombre de couche :	56
II.4.4	Selon la forme : Vers de nouvelle forme	56
II.4.5	Selon la texture :.....	59
II.4.6	Les fonctions de l'enveloppe :	61
	Conclusion :	62
III	Le bâtiment durable / les concepts :	63
III.1	La conception intégrée :	63
III.2	L'empreinte écologique :.....	64
III.3	Le cycle de vie d'un bâtiment :	65
III.4	L'écoefficacité :.....	66
III.5	La conception d'un bâtiment durable :.....	66
1.	Approche intégrée :.....	66
2.	Optimisation énergétique :.....	66
3.	Gestion des matériaux et des ressources :.....	67
4.	Localisation et mobilité :.....	67
5.	Bien-être des usagers :	67
6.	Cycle de vie durable :.....	67
III.5.1	L'impact d'un bâtiment durable sur l'environnement :.....	67
1.	Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES).....	67

2. Gestion efficace des ressources	68
3. Amélioration de la qualité de l'air et de l'eau	68
4. Préservation des écosystèmes	68
5. Réduction de l'empreinte écologique	68
IV La conception bioclimatique :.....	69
IV.1 Les bases de la conception bioclimatique :	70
IV.1.1 L'implantation et l'orientation :.....	70
IV.1.2 Le coefficient de forme :.....	71
IV.1.3 Les déperditions thermiques et l'isolation :.....	72
IV.1.4 La climatisation :	76
IV.1.5 Connaitre le climat, composer avec les données climatiques :	77
Conclusion :	77
V Les régions à climat chaud et sec :.....	78
V.1 Définition du «climat » :.....	78
V.2 Classification des climats :	78
V.3 Les climats chauds et leurs contextes :.....	79
V.4 Le climat désertique (chaud et sec) :	80
Conclusion :	81
VI La bibliothèque :	82
VI.1 Définition :.....	82
VI.2 Définitions des types de bibliothèques :.....	82
VI.2.1 Selon neufeurt 10° édition :.....	83
VI.3 Services :.....	83
VI.4 Les différents espaces à prévoir pour l'aménagement d'une bibliothèque publique :.....	84
Chapitre analytique	87
I Analyse des exemples livresques :.....	64
VII Analyse des exemples existants :.....	68
Synthèses	72
Les synthèses :.....	72
Conclusion :.....	73
Les éléments de passage :.....	74

<i>Chapitre pratique</i>	75
I Présentation de la ville de Biskra :.....	76
I.1 Situation géographique de la ville de Biskra :.....	76
I.2 Le climat :.....	77
I.2.1 Les données climatiques :.....	77
II le programme :	80
III L'analyse de terrain :	82
IV L'idée conceptuelle :.....	84
V Le développement d'élément de façade :.....	87
VI Le dossier technique du projet :.....	91
Conclusion générale :	94
Bibliographie	96
Annexe	99

Table des illustrations

FIGURE 1 : L'EVOLUTION DES MODES CONSTRUCTIFS DES BATIMENTS D'HABITATION.	6
FIGURE 2 : MUR MONOLITHIQUE EN PISE.....	8
FIGURE 3 : LE TORCHIS.....	9
FIGURE 4 : LA BAUGE.	9
FIGURE 5 : L'ADOBE OU BRIQUE DE TERRE MOULEE (BTM).....	10
FIGURE 6 : LE BTC.....	10
FIGURE 7 : APPLICATION STRUCTURELLE DE LA PIERRE NATURELLE, A CAS DES MURS ET B CAS DE FONDATION	13
FIGURE 8 : CHARPENTE EN BOIS AVEC SES COMPOSANTS.	16
FIGURE 9 : A ET B LES TYPES DE POSE DES BARDAGES (CLINS DE BOIS).	17
FIGURE 10 : DETAIL BARDAGE BOIS MASSIF.....	17
FIGURE 11 :CONSTRUCTION A OSSATURE BOIS.	18
FIGURE 12 <i>CONSTRUCTION DE BATIMENTS AVEC DES PANNEAUX DE BOIS MASSIF</i>	18
FIGURE 13 : DES ELEMENTS COURBES EN BOIS LAMELLE-COLLE.	19
FIGURE 14 : FAÇADE VENTILE EN BOIS.	19
FIGURE 15: MODULE EN BOIS PREFABRIQUE.	20
FIGURE 16 : TECHNIQUES DE CONSTRUCTION EN BOTTES DE PAILLE.....	23
FIGURE 17 : LA TECHNIQUE BOIS ET PAILLE.....	24
FIGURE 18 : DETAIL CONSTRUCTION AVEC LA TECHNIQUE DU GREB	25
FIGURE 19 : PREMIER RANG DE BOTTES DE PAILLE MONTE SELON LA TECHNIQUE CST, A L'EXTERIEUR D'UNE STRUCTURE POTEAU POUTRE.	25
FIGURE 20 : STRUCTURE DE CONSTRUCTION REALISEE AVEC SYSTEME DE PREFABRIQUE BETON	29
FIGURE 21 : ENVELOPPE EN BETON AUTO-PLAÇANT BAP	30
FIGURE 22 : MURS EN BETON LEGER	30
FIGURE 23 : A PROJECTION PAR VOIE MOUILLEE ET B PROJECTION PAR VOIE SECHE.	32
FIGURE 24 : FAÇADE LOURDE AVEC OSSATURE METALLIQUE.	36
FIGURE 25 : DETAIL MURS RIDEAU A 2 TYPES D'OSSATURES A HORIZONTALE ET B VERTICALE.	37
FIGURE 26 : MURS RIDEAU, A EN PANNEAUX SIMPLES ET B EN PANNEAUX COMPOSITES.	38
FIGURE 27 : BARDAGE ACIER SIMPLE PEAU, A POSE VERTICALE B POSE HORIZONTALE.....	39
FIGURE 28 : BARDAGE DOUBLE PEAU EN POSE VERTICALE.	40
FIGURE 29 : BARDAGE DE PANNEAU SANDWICHE.	40
FIGURE 30 :VITRAGE SIMPLE.	42
FIGURE 31 : EXEMPLE VERRE ARME.....	42
FIGURE 32 : BATIMENT AVEC ENVELOPPE EN VERRE IMPRIME.	43
FIGURE 33 : LE VERRE PROFILE.....	43
FIGURE 34 : DEFERENTS TYPES DE VERRE.....	44
FIGURE 35 : DEFERENTS TYPES DE VERRE EN CAS DE CASSE	45
FIGURE 36 : SCHEMA D'UN DOUBLE VITRAGE CLASSIQUE.....	46
FIGURE 37 : SCHEMA D'UN TRIPLE VITRAGE.	46
FIGURE 38 : SCHEMA DE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN TRIPLE VITRAGE A ISOLATION RENFORCE.	47
FIGURE 39 : PRINCIPE DU DOUBLE VITRAGE DISSYMETRIQUE.	48
FIGURE 40 : A VITRAGE NORMALE, B VITRAGE AUTONETTOYANT BIOCLEAN.....	48
FIGURE 41 : MURS PORTEURS EN BETON ARME.	52

FIGURE 42 : FAÇADE LEGERE. (MUR RIDEAU)	52	
FIGURE 43 : SCHEMA D'UN MUR EN MAÇONNERIE	53	
FIGURE 44 : MAISON EN PIERRE.	54	
FIGURE 45 :MAISON EN BRIQUE	54	
FIGURE 46 : MAISON EN BOIS	54	
FIGURE 47 :MAISON EN BETON	54	
FIGURE 48 : BATIMENT METALLIQUE CUBIQUE	55	
FIGURE 49 : LE STUDIO BASE A SEATTLE E. COBB ARCHITECTS ET PORTE LE NOM GLASS GRAHAM HOUSE	55	
FIGURE 50 : FAÇADE VEGETALISEE DE L'HOTEL BELLEVILLE A PARIS	55	
FIGURE 51 :UNE DOUBLE PEAU METAL SUSPENDU A LA TOITURE.....	56	
FIGURE 52 : UNE ARCHITECTURE SCULPTURALE ET DYNAMIQUE.....	57	
FIGURE 53 : SOL MADRIDEJOS ET JUAN CARLOS SANCHO, <i>LA CHAPELLE VALLEACERON</i>	57	
FIGURE 54 : HOUSE FALLINGWATER. <i>FRANK LLOYD WRIGHT</i>	58	
FIGURE 55 : NICHOLAS GRIMSHAW- EDEN PROJECT	59	
FIGURE 56 : LES OUVERTURES DANS L'APPAREILLAGE SERVENT DE VENTILATION POUR AERER LES SYSTEMES TECHNIQUES ARRIERE	60	
FIGURE 57 : LE STUDIO BASE A SEATTLE E. COBB ARCHITECTS ET PORTE LE NOM GLASS GRAHAM HOUSE	60	
FIGURE 58 : SCHÜCO AF UDC 80 GREEN FAÇADE	60	
FIGURE 59 : PRINCIPES DE BASE D'UNE CONCEPTION BIOCLIMATIQUE.	69	
FIGURE 60 : L'IMPLANTATION TIEN COMPTE DU RELIEF, DES VENTS LOCAUX, DE L'ENSOLEILLEMENT.	70	
FIGURE 61 : L'ORIENTATION DE L'EDIFICE PAR RAPPORT AUX VENTS ET AU SOLEIL.....	71	
FIGURE 62 : LA COMPACITE VARIE SUIVANT LA FORME, LA TAILLE ET LE MODE DE CONTACT DES VOLUMES CONSTRUITS.	72	
FIGURE 63 : DESCRIPTION ET CONSEQUENCES DES PONTS THERMIQUES.....	73	
FIGURE 64 : ANALYSE DU RISQUE DE CONDENSATION DANS UN DETAIL DE RACCORD DE TOITURE.....	74	
FIGURE 65 : TYPES D'ISOLATION DES MURS	74	
FIGURE 66 : ISOLATION DU TOITURE.	75	
FIGURE 67 : TYPES D'ISOLATION DU SOLS 1 ISOL PAR-DESSOUS ET 2 ISOL PAR LE DESSUS	76	
FIGURE 68 : PRINCIPE DU DOUBLE FLUX.	76	
FIGURE 69 : LES ZONES CLIMATIQUES DANS LE MONDE.	78	
FIGURE 70 : CARTE DU MONDE AVEC LES DIFFERENTES ZONES CLIMATIQUES CHAUDES	79	
FIGURE 71 : LA CARTE GEOGRAPHIQUE DE L'ALGERIE	FIGURE 72 : LA CARTE GEOGRAPHIQUE DE LA VILLE DE BISKRA	76
FIGURE 73 : DIAGRAMME DE VITESSE DU VENT DE LA VILLE DE BISKRA.....	79	
FIGURE 74 :LA ROSE DES VENTS DE LA VILLE DE BISKRA.....	79	
FIGURE 75 : SCHEMA DE L'ELEMENT DE LA FAÇADE VENTILEE.....	88	
FIGURE 76 : SCHEMA D'ENSEMBLE DES ELEMENTS ET METHODE DE FIXATION.	88	
FIGURE 77 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT, COUPE LONGITUDINALE.	88	
FIGURE 78 : VUE 3D EXEMPLE D'UTILISATION	89	
FIGURE 79 : COUPES 3D	89	
FIGURE 80 : COUPE 3D.....	90	
FIGURE 81 : SCHEMA DE L'ELEMENT DE LA FAÇADE DOUBLE PEAU	90	

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : <i>LE DEVELOPPEMENT DE LA NOTION L'ENVELOPPE A TRAVERS L'HISTOIRE</i>	51
TABLEAU 2 : LES DIFFERENTS TYPES DE L'ENVELOPPE SELON LES MATERIAUX. ...	55
TABLEAU 3 : EXEMPLES DES TEXTURES DE L'ENVELOPPE ARCHITECTURALE.....	60
TABLEAU 4 :	83
TABLEAU 5 : BISKRA - TEMPERATURES MOYENNES (1991-2020).....	77
TABLEAU 6 : PRECIPITATIONS MOYENNES-BISKRA.....	78
TABLEAU 7 : HEURES D'ENSOLEILLEMENT-BISKRA	78

*Chapitre
íntroductíf*

Introduction générale :

Depuis des temps anciens, l'architecture a été définie comme l'art et la pratique de concevoir et de construire des bâtiments. Toutefois, cette notion évolue continuellement pour s'adapter à l'environnement, au climat régional et aux besoins changeants de l'humanité en termes de confort et de qualité de vie. Les progrès dans les techniques de construction et les matériaux utilisés ont une influence significative sur chaque étape du processus de construction, allant de la conception initiale à la réalisation de l'enveloppe architecturale. Il est crucial de reconnaître que l'architecture ne devrait pas seulement être esthétique, mais aussi être évaluée en fonction de sa qualité, avec pour objectif principal d'assurer le confort des occupants, notamment en termes de régulation thermique. Ceci est devenu une exigence incontournable et universellement reconnue, à laquelle les concepteurs doivent apporter des solutions durables et efficaces.

Par ailleurs, le concept de durabilité englobe divers facteurs, incluant l'utilisation de matériaux de construction locaux, la conservation de l'énergie et le respect de l'environnement.

Problématique :

L'enveloppe architecturale présente des caractéristiques qui la distinguent d'une région à une autre et d'une époque à une autre selon la technologie, les techniques et les matériaux disponibles à l'époque, de là on peut identifier l'identité du projet, qu'il soit (culturel, administratif, sportif...etc.). D'autre part, joue un rôle très important comme un élément de protection des usagers des fluctuations climatiques, qui passent la plupart de leur temps dans un espace clos, où le confort thermique de l'espace doit être amélioré en prévoyant une isolation thermique

Chapitre introductif

appropriée au service de la durabilité avec des matériaux économes en énergie et respectueux de l'environnement.

Questions de recherche :

- Comment peut-on exploiter les matériaux locaux pour construire une enveloppe architecturale durable ?
- Quels sont les techniques constructives qui aident à restaurer l'identité architecturale tout en respectant l'environnement et le bien être des usagers ?

Hypothèses :

Les matériaux de construction traditionnels ont un effet sur l'efficacité énergétique.

Les objectifs :

- Conception d'une enveloppe architecturale durable.
- Réaliser une bonne isolation thermique par des matériaux locaux, économes en énergie.
- Appliquer des nouvelles techniques pour une enveloppe architecturale thermiquement performante.

Méthodologie de la recherche :

➤ **Partie 1 :**

- C'est la partie théorique qui représente une recherche bibliographique sur les trois concepts majeurs de notre étude : les techniques constructives de l'enveloppe architecturale ; le bâtiment durable ; les régions à climat chaud et sec.
- Ainsi que sur la vocation du projet : la bibliothèque publique.

➤ **Partie 2 :**

- C'est la partie pratique d'élaboration d'un programme d'une bibliothèque public à partir les analyses des exemples livresques et existants ainsi que le programme officiel du projet.
- Extrait des éléments de passage pour nous aider à concevoir le projet.

Structure de mémoire

Chapitre introductif

- **Introduction générale**
- **Problématique**
- **Questions de recherche**
- **Hypothèses**
- **Les objectifs**
- **Méthodologie de recherche**

Chapitre théorique

- **Matériaux et techniques constructives de l'enveloppe architecturale**
- **L'enveloppe architecturale**
- **Architecture bioclimatique**
- **Les régions à climat chaud et sec**

Chapitre analytique

- **Analyse des exemples livresques**
- **Analyse des exemples existants**

Chapitre pratique

- **Analyse de site**
- **Application du thème en projet**

Chapitre théorique

Introduction :

L'histoire de l'enveloppe, commence avec l'architecture locale, par le passage du nomadisme au mode de vie sédentaire. Les différentes civilisations habitaient soit des tentes, soit des cavités. Les enveloppes commençaient, donc déjà, à être différentes. Leur but majeur était d'assurer une protection plus contre la pluie, l'humidité ou le rayonnement solaire que contre le froid ou la chaleur.¹

L'enveloppe joue un rôle essentiel, lorsqu'il s'agit de concevoir un bâtiment durable. L'enveloppe, qui englobe les murs, les toits, les fenêtres et les portes, est la première ligne de défense contre les éléments extérieurs tels que la chaleur, le froid, le vent et la pluie. Pour créer une enveloppe de bâtiment durable, il est crucial de choisir les bons matériaux et d'appliquer des techniques constructives appropriées.

I Matériaux et techniques constructives de l'enveloppe architecturale :

L'enveloppe du bâtiment a évolué avec les modes constructifs qui, au fil du temps, ont apporté des modifications dans la nature des matériaux et dans leur mise en œuvre.²

La fin du 19e siècle et le début du 20e constituent une période « charnière » dans l'évolution des modes constructifs des bâtiments d'habitation :



Figure 1 : l'évolution des modes constructifs des bâtiments d'habitation.

Source : <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/knowledge/post/enveloppe-du-batiment>

La transition de l'ère haussmannienne vers une production industrielle a vu l'introduction de nouveaux matériaux de construction et de techniques innovantes. Les dégâts de la Seconde Guerre mondiale ont nécessité une reconstruction, marquant ainsi une évolution significative dans la construction des habitations,

¹ Cercle Promodul. (n.d.). Enveloppe du bâtiment. Récupéré le 23 avril 2024, de <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/knowledge/post/enveloppe-du-batiment>

² Cercle Promodul. (n.d.). Enveloppe du bâtiment. Récupéré le 23 avril 2024, de <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/knowledge/post/enveloppe-du-batiment>

notamment avec l'utilisation de briques, de parpaings et de béton, ainsi que des techniques telles que les maçonneries moins épaisses.³

I.1 La terre crue :

La terre crue, un matériau ancestral, a été réintroduite dans la construction contemporaine pour ses multiples avantages. Disponible localement, elle offre une efficacité énergétique, un confort intérieur, matériau recyclable. Ses diverses techniques d'utilisation couvrent la construction structurale (pisé, adobe, BTC), l'isolation (torchis) et les enduits sur supports en terre.⁴

I.1.1 Caractéristiques :

- **Disponibilité** : Elle est souvent disponible localement ou peut provenir des déchets de carrières ou des terres d'excavation.
- **Circularité** : Elle peut être valorisée à partir des terres d'excavation et des déchets de carrières, et elle est réutilisable et recyclable, contribuant ainsi à une approche circulaire.
- **Énergie et émissions** : En étant non stabilisée, la terre crue est un matériau bas carbone et à faible énergie grise, même avec des systèmes mécanisés.
- **Confort intérieur** : Non toxique, elle possède une inertie thermique et une capacité à réguler l'humidité, assurant ainsi un climat intérieur sain et un confort thermique, réduisant ainsi les besoins de chauffage ou de climatisation.
- **Caractéristiques physiques** : Elle est incombustible, imputrescible, et résiste bien en compression, mais moins en traction. Toutefois, l'ajout d'additifs ou d'armatures peut améliorer ses capacités de traction, y compris contre les tremblements de terre.
- **Aspects socioculturels** : Elle peut contribuer à la préservation et à la revalorisation du patrimoine architectural, ainsi qu'à la transmission des savoir-faire traditionnels. Elle peut aussi favoriser une meilleure inclusion sociale en réhabilitant des pratiques souvent stigmatisées.
- **Durabilité** : Correctement construits et entretenus, les bâtiments en terre peuvent avoir une très longue durée de vie.
- **Aspects économiques** : Le coût varie selon les matériaux ajoutés et le coût de la main-d'œuvre. En auto construction, le coût peut être très bas pour une maison de qualité.
- **Esthétique et flexibilité d'usage** : La terre crue offre une grande variété de formes, teintes et textures, permettant ainsi une grande liberté artistique

³Cercle Promodul. (n.d.). Enveloppe du bâtiment. Récupéré le 23 avril 2024, de <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/knowledge/post/enveloppe-du-batiment>

⁴Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 22).

et architecturale. Remplissage (torchis), voire comme enduit sur un support en terre.⁵

I.1.2 Techniques d'application :

- La terre, composée d'argile et de grains en proportions variables, offre une grande diversité d'applications en fonction de sa composition, de son état hydrique et de la méthode de mise en œuvre :
- Elle peut être compactée à l'état humide (pisé, BTC), empilée ou moulée à l'état plastique (bauge, adobe), mélangée ou appliquée à l'état visqueux (torchis, mortier, enduits).
- Utilisation structurelle : elle peut former des murs, piliers, arcs, voûtes, coupes, soit de manière monolithique (bauge, pisé), soit maçonnée (adobe, BTC).
- Utilisation non structurelle : elle peut servir au remplissage de murs, planchers ou toitures, à la fabrication de mortier, de revêtements de façade, de toiture ou de sol. Elle se marie souvent harmonieusement avec d'autres matériaux naturels tels que la pierre, le bois ou les fibres, de diverses manières.⁶

I.1.2.1 Le pisé :

Le pisé est une technique de construction de murs monolithiques en terre crue. Elle consiste à installer des couches de terre compactée dans des moules, formant ainsi des murs porteurs d'une épaisseur moyenne de 50 cm.⁷



Figure 2 : mur monolithique en pisé.

Source : Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique

⁵ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 22).

⁶ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 23).

⁷ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 23).

I.1.2.2 Le torchis :

Le torchis est une méthode de construction qui implique de revêtir une ossature porteuse, composée de poteaux et de tiges de bois ou de bambou, avec de la terre fibreuse. Cette technique permet une construction rapide avec une quantité minimale de matériaux. ⁸



Figure 3 : Le torchis

Source : Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique

I.1.2.3 La bauge :

Les murs en bauge, couramment utilisés en Afrique, sont construits en terre façonnée à la main par l'élévation de couches successives. Leur épaisseur peut varier de 5 à 60 cm selon leur fonction et la présence éventuelle de fibres dans la terre. ⁹



Figure 4 : la bauge.

Source : Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique

⁸ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 23).

⁹ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 23).

I.1.2.4 L'adobe ou brique de terre moulée (BTM) :

L'adobe est une brique de terre crue, façonnée et séchée à l'air libre. La terre argileuse peut être mélangée avec du sable et/ou de la paille. Cette méthode est la plus populaire et répandue dans le monde pour la construction en terre crue.¹⁰



Figure 5 : L'adobe ou brique de terre moulée (BTM)

Source : Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique

I.1.2.5 Le bloc de terre comprimé (BTC) :

Le BTC, ou Bloc de Terre Compressée, est fabriqué en compactant de la terre à l'aide de presses manuelles ou mécanisées. Généralement, il est stabilisé avec environ 6 % de ciment. Cette méthode a été introduite à partir des années 1950 dans le cadre de programmes visant à fournir un logement économique.¹¹



Figure 6 : le BTC

Source : Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique

¹⁰ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 23).

¹¹ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 23).

I.1.2.6 Les enduits :

L'enduit en terre crue est traditionnellement constitué de terre, d'eau, de sable si nécessaire, ainsi que de fibres végétales ou animales. Selon la finition désirée, il est possible d'incorporer des colorants naturels ou synthétiques. De plus, pour les façades de bâtiments exposées aux intempéries, on peut ajouter à l'enduit en terre crue de la chaux aérienne ou hydraulique naturelle.¹²

L'enduit en terre crue s'applique en plusieurs couches, plusieurs étapes, en fonction de l'ouvrage :

- Le renformis, lorsqu'on utilise l'enduit pour reboucher des trous.
- Le gobetis, qui permet de préparer la surface pour accrocher l'enduit.
- Le corps d'enduit : il s'agit de la couche d'enduit à appliquer sur l'ouvrage.
- La finition, qui va donner l'aspect final, la texture et l'esthétique de l'ouvrage.
- Le badigeon, pour une finition plus légère.¹³

Si l'on apprécie le rendu simple et authentique de l'enduit en terre crue, il présente également d'autres avantages. Il aide à réguler l'humidité de l'habitat, améliore la qualité de l'air intérieur, et offre un supplément d'isolation. C'est pourquoi il est de plus en plus employé en intérieur. En outre, son aspect décoratif séduit de plus en plus. À l'extérieur, il est principalement utilisé pour la réhabilitation de constructions anciennes entièrement ou partiellement en terre crue.¹⁴

I.2 La pierre naturelle :

La pierre a longtemps été utilisée comme matériau de construction pour sa robustesse. Sa disponibilité variable et les défis liés à son extraction ont souvent limité son utilisation aux structures prestigieuses. Cependant, les progrès technologiques modernes ont simplifié ces processus. La pierre naturelle est le résultat de processus géologiques sur de longues périodes et peut être extraite de carrières ou de gisements naturels.¹⁵

¹² LA MAISON SAINT-GOBAIN. (n.d). *Construction et rénovation en terre crue* .Récupéré le 23 juillet 2024, de <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/renovation-energetique-habitat-durable/terre-crue-construction-renovation>.

¹³ LA MAISON SAINT-GOBAIN. (n.d). *Construction et rénovation en terre crue* .Récupéré le 23 juillet 2024, de <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/renovation-energetique-habitat-durable/terre-crue-construction-renovation>.

¹⁴ LA MAISON SAINT-GOBAIN. (n.d). *Construction et rénovation en terre crue* .Récupéré le 23 juillet 2024, de <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/renovation-energetique-habitat-durable/terre-crue-construction-renovation>

¹⁵ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 24).

I.2.1 Caractéristiques :

- **Disponibilité** : La pierre est largement disponible dans de nombreuses régions, notamment dans les montagnes. Cependant, certaines zones peuvent être éloignées des carrières de bonne qualité. Dans le Sahel, la latérite est abondante et fournit des blocs de latérite taillée (BLT) utilisés dans la maçonnerie.
- **Extraction** : La pierre est extraite des carrières ou des rivières (sous forme de galets). Une gestion appropriée des carrières est nécessaire, et le transport de la pierre peut affecter les routes rurales. Elle peut également être récupérée lors du nettoyage des champs ou des excavations.
- **Circularité** : Potentiel de valorisation des déchets des champs et des pierres d'excavation. C'est un matériau couramment réutilisé et réutilisable à l'infini.
- **Énergie et émissions** : Si la pierre est extraite à proximité, c'est un matériau bas carbone et à faible énergie grise (extraction, transformation et mise en œuvre).
- **Confort intérieur** : Inertie thermique et non-toxicité assurent un climat intérieur sain et un bon confort thermique.
- **Caractéristiques physiques** : Selon le type de roche, matériau qui peut être très robuste, durable dans le temps et peu sensible à l'humidité. Les éléments de maçonnerie en pierre ont une résistance à la compression élevée et une faible résistance en traction. Ils peuvent être sensibles aux remontées capillaires.¹⁶
- **Aspects socioculturels** : Potentiel de préservation et de revalorisation des patrimoines architecturaux et des savoir-faire associés.
- **Durabilité** : Bien construits et correctement entretenus, les bâtiments en pierre ont une très longue durée de vie.
- **Aspects économiques** : Très variables selon la distance de la carrière, les difficultés d'extraction et de taille, l'ajout de matériaux industriels et le coût de la main-d'œuvre.¹⁷
- **Esthétique et flexibilité d'usage** : Matériau généralement apprécié, qui renvoie à l'image des monuments prestigieux. La pierre présente une palette de couleurs, de textures et de formes possibles étendue. Son usage est cependant moins flexible que d'autres éco matériaux.¹⁸

¹⁶ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 24).

¹⁷ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 24).

¹⁸ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 24).

I.2.2 Techniques d'application :

La pierre offre divers produits et applications dans le bâtiment qui dépendent des propriétés de la roche (dureté, résistance aux agressions) :

- Utilisée sous forme de bloc taillé, de lauze (pierre plate) ou sous une forme irrégulière, c'est-à-dire de « tout-venant ».¹⁹
- En application structurelle : fondations, murs, piliers, linteaux, arcs, voûtes, coupes, escaliers, etc.



Figure 7 : application structurelle de la pierre naturelle, A cas des murs et B cas de fondation

Source : Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique

En application non structurelle : remplissage de murs, revêtement de façade, de toiture et de sols. L'usage de la pierre est très pertinent en complément de murs en terre (fondations, linteaux, appuis de fenêtres, arêtes saillantes, poteaux, sous des pièces de charpentes pour répartir la charge, en renfort des murs, etc.).²⁰

I.2.3 Conditions d'usage durables :

La maçonnerie de pierres exige un savoir-faire hautement qualifié pour la taille et l'appareillage. Elle utilise ou non du mortier (terre, chaux, ciment). Le mortier sert à combler les vides et à caler les pierres, mais ne joue pas le rôle de « colle ». La stabilité est assurée par une bonne disposition des pierres. La maçonnerie de pierre peut être sensible aux remontées capillaires ; des dispositions architecturales et constructives adaptées assureront une bonne protection. La maçonnerie en pierres sèches (sans mortier) permet à certains animaux de nicher (oiseaux, lézards) ce qui limite la présence d'insectes nuisibles (moustiques).²¹

¹⁹ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 25).

²⁰ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 25).

²¹ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 25).

I.3 Le bois :

Construire en bois implique de concevoir et bâtir avec un matériau naturel renouvelable, dont la croissance et l'expansion sont impressionnantes. Le bois est particulièrement apprécié des enfants pour sa chaleur, son aspect, son odeur, et sa capacité à absorber l'humidité. Depuis des siècles, le bois est utilisé dans divers domaines, allant des meubles aux bâtiments, grâce à ses possibilités esthétiques et constructives. Il permet de réaliser des projets variés et innovants, faisant du bois un matériau qui ouvre de nombreux horizons.²²

- **Ecologie - architecture durable :**

Le bois est un matériau naturel qui joue un rôle crucial dans l'équilibre écologique de la planète en raison de ses nombreux effets positifs sur le cycle écologique. La notion de développement durable, qui est de plus en plus en vogue, trouve ses origines dans la sylviculture européenne, où dès 1870, des réglementations ont été mises en place pour limiter l'abattage du bois à des quantités pouvant être remplacées par de nouvelles pousses. Aujourd'hui, ce principe de durabilité est largement accepté et s'applique à la construction et à l'exploitation des bâtiments. Utiliser le bois et concevoir des structures bien isolées thermiquement avec des matériaux écologiques et des méthodes de production optimisées contribue à un développement durable en n'utilisant que des ressources renouvelables. Le bois, en tant que matériau de construction, illustre cette approche en participant activement à la préservation des ressources naturelles.²³

I.3.1 Caractéristiques :

La couleur et les caractéristiques structurelles du bois, visibles à l'œil nu, déterminent son apparence. Ces traits résultent de divers processus physiques et biologiques, influencés par la température, les variations de croissance, les cernes annuels, les branches, l'écorce et l'écoulement de la résine. Les cernes annuels, qui reflètent la vie de l'arbre, se forment par la combinaison du bois de printemps et du bois d'été. Selon les essences, ces cernes peuvent être plus ou moins prononcés. D'autres propriétés seront expliquées dans les sections suivantes.²⁴

- **Densité :** Contrairement à d'autres matériaux de construction, le bois offre une grande résistance tout en étant relativement léger. Chaque essence de bois possède une densité spécifique, influencée par sa composition. Cette propriété est exploitée en fonction des caractéristiques de chaque type de

²² Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.10).

²³ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.17).

²⁴ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.32).

bois. Par exemple, l'épicéa, qui est léger mais robuste, est utilisé dans les structures porteuses telles que les poutres et les poteaux. En revanche, le hêtre, qui est dur et résistant à l'usure, est principalement utilisé pour les éléments tels que les escaliers.²⁵

- **Résistance** : Le bois présente une orientation marquée de ses fibres dans le sens de la croissance du tronc, ce qui entraîne une anisotropie, c'est-à-dire des propriétés différentes selon l'orientation des fibres. La résistance du bois varie en fonction de la direction de l'effort appliqué : elle est beaucoup plus élevée dans le sens des fibres (longitudinal) que perpendiculairement à celles-ci (transversal). Lorsque l'effort est perpendiculaire au sens des fibres, il est important de distinguer entre les efforts parallèles aux cernes (tangential) et ceux perpendiculaires aux cernes (radial), les différences pouvant atteindre jusqu'à 50 %. Les ingénieurs utilisent des données fiables issues de la recherche pour dimensionner les structures en bois en tenant compte de ces variations de résistance.²⁶
- **Teneur en humidité et variations dimensionnelles** : Le bois a la capacité d'absorber et de libérer l'humidité sous forme de vapeur, ce qui contribue au climat agréable des maisons en bois. Cependant, cette propriété entraîne également des variations dimensionnelles : le bois se dilate lorsqu'il absorbe de l'humidité et se contracte lorsqu'il en perd. Pour minimiser ces fluctuations, il est courant d'utiliser du bois préalablement séché à la teneur en humidité appropriée pour son utilisation. Il est crucial de prendre en compte les comportements de retrait et de gonflement du bois, qui varient en fonction de l'orientation des fibres, lors de la conception des structures en bois.²⁷
- **Résistance** : La résistance du bois aux intempéries varie en fonction des matières résistantes diverses contenues dans les différentes essences. Les duramens des pins sylvestres, mélèze et douglas sont à l'état naturel un peu plus résistants que ceux des sapins et des épicéas. Le chêne est considéré comme le plus résistant des feuillus indigènes.²⁸

²⁵ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.32).

²⁶ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.32).

²⁷ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.32).

²⁸ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.32).

Chapitre théorique

- Le bois peut trouver une multitude d'usages : en structure- ossature porteuse, murs, planchers et charpente, ou en second œuvre - parois légères, menuiseries ou revêtement des sols, murs et plafonds.²⁹

I.3.2 Les techniques constructives de l'enveloppe architecturale en bois :

se sont développées pour offrir à la fois performance, esthétique, et durabilité. Voici un aperçu des principales techniques :³⁰

I.3.2.1 Charpente en Bois

- Description : Utilisation de poutres, chevrons et éléments de charpente en bois pour créer la structure porteuse de l'enveloppe.
- Applications : Structures de toit, murs porteurs.
- Avantages : Flexibilité dans la conception, possibilité de grandes ouvertures.³¹

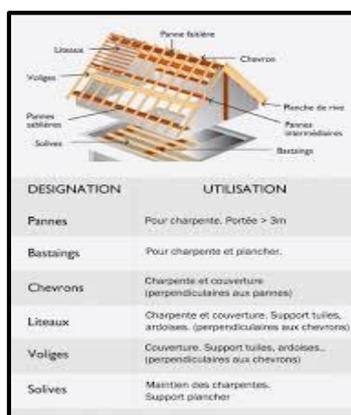


Figure 8 : charpente en bois avec ses composants.

Source : <https://www.materiaux-naturels.fr/dossier/66-mise-en-uvre-et-elements-d-une-charpente-en-bois>.

I.3.2.2 Bardage en Bois :

- Description : Revêtement extérieur d'un bâtiment avec des panneaux ou des planches en bois.
- Types :
 - **Clins de Bois** : Petites planches superposées horizontalement ou verticalement.
 - **Panneaux** : Panneaux de bois massif ou composites.

²⁹ Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique (p. 27).

³⁰ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.37).

³¹ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.37).

Chapitre théorique

- Avantages : Esthétique chaleureuse, bonne isolation thermique et acoustique, protection contre les intempéries.³²

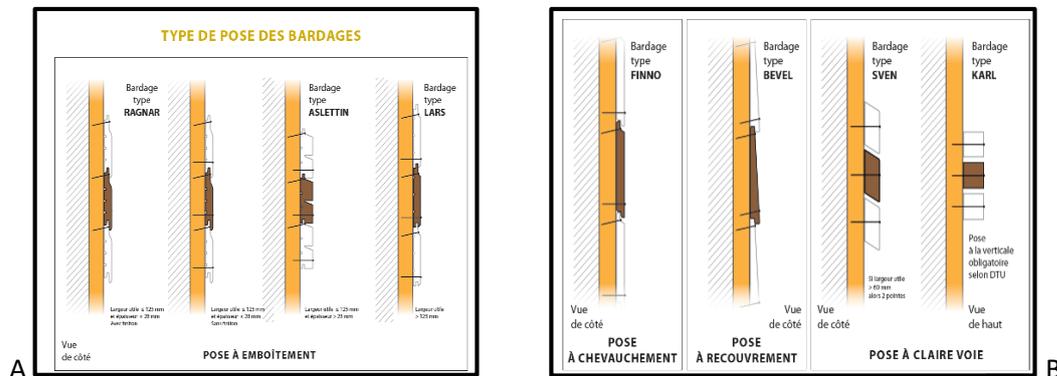


Figure 9 : A et B les types de pose des bardages (clins de bois).

Source : https://www.e-wood.fr/media/catalog/product/notice_bardage_bois.pdf

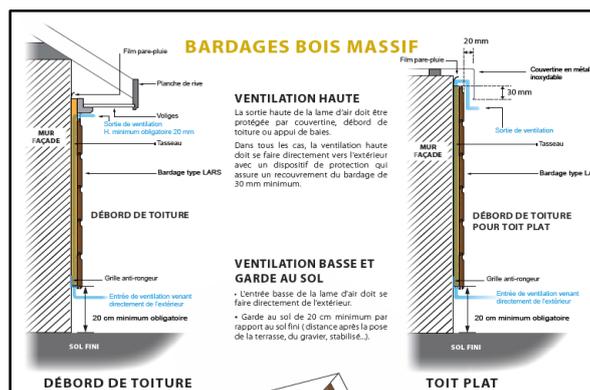


Figure 10 : détail bardage bois massif.

Source : https://www.e-wood.fr/media/catalog/product/notice_bardage_bois.pdf

I.3.2.3 Ossature Bois :

- Description : Structure en bois constituée de montants et de traverses, généralement recouverte de panneaux ou de clins.
- Applications : Maisons à ossature bois, bâtiments légers.
- Avantages : Construction rapide, bonne isolation, légèreté.³³

³² Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.37).

³³ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.38).



Figure 11 : construction à ossature bois.

Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ossature_%C3%A0_bois_longes

I.3.2.4 Panneaux de Bois Massif :

- Description : Panneaux composés de couches de bois collées croisées pour former des éléments structurels robustes.
- Applications : Immeubles de grande hauteur, bâtiments commerciaux.
- Avantages : Haute résistance, rapidité d'installation, faible empreinte carbone.³⁴



Figure 12 Construction de bâtiments avec des panneaux de bois massif.

Source : https://www.boisenergie.guidenr.fr/II_construction-panneau-massif.php

I.3.2.5 Bois Lamellé-Collé :

- Description : Poutres fabriquées en collant plusieurs couches de bois lamellé.
- Applications : Structures de grande portée comme les ponts, grandes couvertures.
- Avantages : Flexibilité dans la forme et les dimensions, haute résistance.³⁵

³⁴ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.38).

³⁵ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.38).



Figure 13 : des éléments courbes en bois Lamellé-Collé.

Source : <https://cecobois.com/produits/produits-structuraux/bois-lamelle-colle/>

I.3.2.6 Façades Ventilées en Bois :

- Description : Système de façade où une lame d'air est créée entre le revêtement en bois et la structure du bâtiment pour améliorer la performance thermique et éviter l'accumulation d'humidité.
- Applications : Bâtiments résidentiels et commerciaux.
- Avantages : Amélioration de l'efficacité énergétique, protection contre les intempéries.³⁶



Figure 14 : façade ventilé en bois.

Source : <https://rim.com.pl/fr/start-offre-clients-individuels-faades-ventiles/>

I.3.2.7 Enveloppe en Bois Modulaires :

- Description : Constructions en bois préfabriquées en modules qui sont assemblés sur site.
- Applications : Maisons modulaires, bâtiments temporaires.
- Avantages : Construction rapide, précision dans les dimensions, réduction des déchets.³⁷

³⁶ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.38).

³⁷ Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs (p.38).

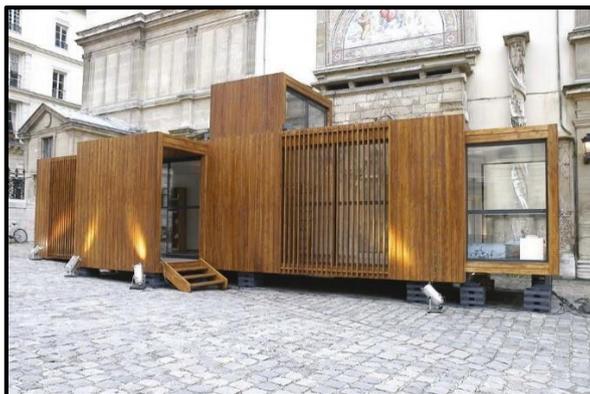


Figure 15: module en bois préfabriqué.

Source : <https://chroniques-architecture.com/le-batiment-du-futur-modules-a-laune-de-lecologie-mentale/>

Ces techniques permettent non seulement de créer des bâtiments esthétiques et fonctionnels mais aussi de maximiser les avantages écologiques du bois en termes d'isolation, de durabilité et de réduction des émissions de carbone.

1.4 La paille :

La paille dans la construction fait référence à l'utilisation de ballots ou de bottes de paille comme matériau de construction. Elle est souvent utilisée dans les murs comme une forme d'isolation ou de remplissage dans des structures porteuses en bois, une technique couramment appelée "construction en ballots de paille". Elle est souvent associée à des techniques de construction durable et respectueuse de l'environnement, comme dans les écoconstructions ou les maisons passives.

1.4.1 Caractéristiques techniques de la paille :

La paille présente plusieurs avantages en tant que matériau de construction. Elle est produite en grandes quantités chaque année (blé, épeautre, orge, riz, etc.), ce qui garantit sa disponibilité constante, contrairement au bois qui nécessite plusieurs années de croissance. Sa fabrication est simple et ne requiert pas d'infrastructure industrielle, réduisant ainsi les frais de transport coûteux. En plus de son aspect esthétique, qui permet de réaliser des formes arrondies, la paille offre de nombreux autres atouts pour la construction.³⁸

- **Résistance au feu** : les tests réalisés aux États-Unis, au Canada, et en France ont démontré que la paille comprimée est résistante au feu. Bien que la paille en vrac brûle facilement, les bottes de paille comprimées, avec leur

³⁸ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.11)

faible teneur en air, brûlent très mal car elles manquent d'oxygène pour entretenir un feu. La norme de résistance au feu pour les bottes de paille est B2. Selon B. King, un mur de paille enduit peut résister au feu plus de quatre heures. Des tests menés en 2009 par le CSTB et par l'institut FCBA ont validé cette résistance, avec des classements de B-s1, d0, correspondant à la norme M1 pour les matériaux non inflammables.³⁹

- **Résistance à l'humidité** : la paille, en raison de sa haute teneur en silice, pourrit très lentement, mais l'humidité reste un danger majeur pour les constructions en paille. Il est crucial de protéger les bottes de paille contre l'humidité à chaque étape. Voici les précautions à prendre :
 - Humidité des bottes : Ne pas utiliser des bottes dont le taux d'humidité dépasse 20 %.
 - Protection des façades : Protéger les murs pendant la construction.
 - Toit : Assurer un débordement suffisant pour éviter la pluie sur les murs.
 - Gouttières : Installer des gouttières pour canaliser l'eau.
 - Ventilation : Prévoir une ventilation sous la couverture pour éviter l'humidité.
 - Surfaces horizontales : Éviter les surfaces horizontales sous les fenêtres pour prévenir l'accumulation d'eau.
 - Drainage : Installer un drainage autour des fondations pour éloigner l'eau.
 - Élévation des bottes : Placer les bottes sur une semelle surélevée d'environ 20 cm au-dessus du sol fini pour prévenir l'humidité par capillarité.⁴⁰

Ces mesures aident à préserver l'intégrité des constructions en paille contre les effets néfastes de l'humidité.

- **Résistance thermique** : la résistance thermique (R) mesure la capacité d'un matériau à isoler contre la chaleur et le froid, avec une unité en mètre carré kelvin par watt ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$). Plus la valeur R est élevée, meilleur est l'isolant. La conductivité thermique est mesurée par la valeur lambda (λ).⁴¹

Pour les bottes de paille :

- Posées transversalement (à chant), elles offrent une résistance thermique de $R = 6,92 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, équivalente à 27 cm de ouate de cellulose (calcul : $R = \text{épaisseur} / \lambda = 0,36 \text{ m} / 0,052 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$).

³⁹ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.11)

⁴⁰ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.12)

⁴¹ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.12)

- Posées dans le sens de la paille (à plat), elles offrent une résistance thermique de $R = 5,87 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (calcul : $R = \text{épaisseur} / \lambda = 0,47 \text{ m} / 0,08 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$).

Ces valeurs permettent de respecter les exigences thermiques de la Réglementation Thermique 2012 (RT 2012) et de la future réglementation de 2020.

- **Acoustique** : la réglementation française demande un isolement par rapport aux bruits extérieurs supérieur à 30 dB (A). La classification à prendre en compte est un affaiblissement acoustique de 45 dB. À titre d'exemple, sur la maison bois/paille de Montholier*, les diverses performances enregistrées s'échelonnent entre 48 et 57,3 dB (A). Ces résultats sont très rassurants puisqu'ils entrent dans les normes.⁴²
- **Résistance aux insectes et rongeurs** : la compression très importante des bottes de paille, ainsi que la réalisation d'un bon enduit minimisent de manière considérable les risques liés aux insectes et rongeurs. Toutefois, pour être plus rassuré encore, on peut installer un grillage au bas des murs, afin d'éviter toute incursion indésirable.⁴³

I.4.2 Les différentes techniques de la construction en paille :

La paille est un matériau aux multiples qualités et vous pourrez vous en rendre compte tout au long de la lecture de cet ouvrage. Il existe des techniques variées pour la mettre en œuvre. Le point commun de ces techniques est le matériau paille en lui-même, qui doit avoir un taux d'humidité inférieur à 20 % et une masse volumique d'au moins 80 kg/m³, pour une utilisation en remplissage. On peut définir trois grands types de techniques liées à l'usage de la botte de paille comme matériau de construction :

- le bois comme structure porteuse :
 - l'ossature bois, technique courante en France, où la paille prend la place des isolants couramment usités,
 - le poteau poutre, où la paille est rajoutée avec une petite ossature légère ;
- la paille porteuse : cette technique constructive sans structure bois a été la première à mettre en valeur les qualités de la paille dans le domaine de la construction, au XIX^e siècle, aux États-Unis ; elle se développe en France avec, entre autres, l'utilisation de grosses bottes de paille ;
- les techniques mixtes : ces systèmes constructifs considèrent la paille comme porteuse et/ou utilisent une ossature légère en bois. En général, les

⁴² Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.13)

⁴³ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.13)

enduits participent de manière importante à la bonne réalisation de ces techniques (technique du Greb, technique CST...).

Il existe également d'autres utilisations de la paille, notamment pour l'isolation thermique par l'extérieur, la réalisation de torchis ou l'isolation de bâtiments existants. Nous n'aborderons toutefois pas ces usages ici, mais nous nous attacherons à décrire l'utilisation de la botte de paille en remplissage. Les règles professionnelles de construction en paille (Règles CP 2012, éditions Le Moniteur, 2011) traitent des différentes techniques d'utilisation de la botte de paille en remplissage. Nous présentons ci-après cinq grands types de systèmes constructifs paille.⁴⁴

I.4.2.1 La technique Nebraska :

Il s'agit de la plus ancienne des techniques de construction en bottes de paille, utilisée aux États Unis au XIXe siècle. Les bottes sont empilées les unes sur les autres, en quinconce, comme pour un mur de briques ; ensuite, elles sont compressées entre la lisse haute et la lisse basse, avant de supporter le poids du toit. Ce sont en effet les murs en paille qui sont porteurs dans cette technique.

Cette technique est encore répandue en Angleterre et tend à prendre de l'importance avec le développement de la grosse botte de paille. Des acteurs de la construction paille travaillent actuellement en France pour développer cette technique. Le Réseau français de la construction paille a créé un atelier paille porteuse, afin de recenser les habitations existantes et de travailler sur cette technique.⁴⁵



Figure 16 : techniques de construction en bottes de paille.

Source : <https://static.fnac-static.com/multimedia/editorial/pdf/9782212138092.pdf>

I.4.2.2 La technique bois et paille :

La technique développée ici utilise la structure poteau poutre comme structure porteuse, avec une isolation paille par l'extérieur, permettant d'éviter les ponts

⁴⁴ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.14)

⁴⁵ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.14)

thermiques et de laisser la structure bois apparente en intérieur. Cette technique permet de valoriser le savoir-faire et la qualité de travail des artisans charpentiers, tout en profitant des nombreux avantages de l'isolant botte de paille. Elle se rapproche de la technique dite Nebraska, mais les murs sont ici semi-porteurs seulement.⁴⁶



Figure 17 : la technique bois et paille.

Source : <https://static.fnac-static.com/multimedia/editorial/pdf/9782212138092.pdf>

I.4.2.3 La technique du Greb :

le Groupe de recherches écologiques de la Batture (Greb), basé au Canada, a développé une méthode innovante de construction de maisons en bottes de paille, qui est promue en France par l'association Approche-Paille. Selon l'ouvrage *Construire son habitation en paille* de V. Brossamain et J.-B. Thévard, publié aux éditions Brossamain, cette technique combine plusieurs procédés. Elle repose sur une double ossature légère en bois, fixée sur des fondations, qui accueille les ballots de paille recouverts d'un mortier léger. Ce qui rend cette méthode particulièrement attrayante pour les auto-constructeurs, c'est sa simplicité de mise en œuvre, facilitée par l'utilisation de coffrages de petite taille.⁴⁷

⁴⁶ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.14)

⁴⁷ Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.15)



Figure 18 : détail construction avec la technique du **Greb**.

Source : <https://static.fnac-static.com/multimedia/editorial/pdf/9782212138092.pdf>

I.4.2.4 La technique CST :

La technique Cellule Sous Tension (CST) est expliquée en détail dans le livre de T. Rijven, *Entre paille et terre*, publié aux éditions Goutte de sable : « On insère une botte de paille dans une ossature en bois, en veillant à ce qu'elle soit 5 cm plus longue que l'espace entre les montants, créant ainsi une compression supplémentaire. En coupant la ficelle des bottes, on libère également la tension horizontale. Cette double tension, à la fois horizontale et verticale, confère à la botte ses propriétés porteuses et contreventantes. » Ainsi, cette méthode nécessite seulement une légère ossature en bois, intégrée entre les bottes de paille.⁴⁸



Figure 19 : Premier rang de bottes de paille monté selon la technique CST, à l'extérieur d'une structure poteau poutre.

Source : <https://static.fnac-static.com/multimedia/editorial/pdf/9782212138092.pdf>

I.4.2.5 La technique ossature bois :

Dans la technique ossature bois, on remplace l'isolant habituel par l'isolant bottes de paille. Il existe plusieurs types de murs à ossature isolés en paille, selon la mise en œuvre choisie et le type de finition souhaitée. La technique ossature

⁴⁸ Fruchard, E., & Piaud, V. (2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.15)

bois permet en effet de réaliser des finitions en bardage bois ou en enduits. Nous allons étudier ici un type de réalisation : les murs ossature bois sont taillés, assembles et isolés en atelier, ce qui permet un processus « industrialisé » et la protection des différents matériaux ainsi abrités. Les complexes de mur peuvent être différents selon les artisans. Une fois sur le chantier, il reste seulement à lever et assembler les murs.⁴⁹

I.5 Le béton :

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulats, de sable, et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (le plus souvent du ciment) qui sert de « colle ». On y ajoute éventuellement des adjuvants et d'autres ingrédients pour modifier ses caractéristiques. Pour fabriquer 1 m³ de béton, il faut environ 300 kg de ciment, 800 kg de sable, 1.050 kg de granulats et 175 l d'eau.⁵⁰

Le béton est un matériau de construction très polyvalent et largement utilisé dans l'architecture, notamment pour la réalisation des enveloppes architecturales.⁵¹

I.5.1 Caractéristiques :

Le béton est un matériau composite utilisé largement en construction en raison de ses multiples caractéristiques qui le rendent à la fois polyvalent et performant. Voici les principales caractéristiques du béton :

- **Durabilité :**
 - Longévité : Le béton est un matériau durable qui peut durer plusieurs décennies, voire des siècles, s'il est bien entretenu et conçu correctement. Il résiste bien aux intempéries, à l'usure, aux cycles de gel/dégel et à la corrosion dans certains cas.
 - Résistance aux agents chimiques : Bien qu'il soit généralement résistant aux agents chimiques, certains types d'environnement, comme les zones maritimes (où il est exposé à des sels) ou industrielles (où il est exposé à

⁴⁹ Fruchard, E., & Piau, V. (2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .(p.15)

⁵⁰ Kind-Barkauskas, F. (2006). *Construire en béton: conception des bâtiments en béton armé*. Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes.

⁵¹ Kind-Barkauskas, F. (2006). *Construire en béton: conception des bâtiments en béton armé*. Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes.

des acides), peuvent dégrader le béton. Des additifs ou des traitements de surface peuvent être appliqués pour renforcer cette résistance.⁵²

- **Densité :**

- Le béton standard a une densité moyenne d'environ 2 400 kg/m³. Toutefois, il existe des bétons légers (avec des densités de 1 400 à 1 800 kg/m³) et des bétons lourds (jusqu'à 3 800 kg/m³) en fonction des granulats utilisés.

- Béton léger : Utilisé pour l'isolation thermique et l'allègement des structures.

- Béton lourd : Utilisé dans les structures nécessitant une grande inertie, comme dans les centrales nucléaires ou pour le blindage contre les radiations.⁵³

- **Thermicité :**

- Inertie thermique : Le béton possède une forte inertie thermique, ce qui signifie qu'il emmagasine la chaleur et la restitue lentement. Cette propriété est avantageuse pour la régulation thermique des bâtiments, notamment dans les climats tempérés.

- Isolation thermique (faible) : Malgré sa forte inertie thermique, le béton n'est pas un bon isolant thermique. Pour des performances thermiques optimales, il doit être associé à d'autres matériaux isolants.

- **Résistance au feu :**

Le béton est incombustible et résiste très bien au feu. Il peut maintenir ses propriétés mécaniques même sous des températures élevées, ce qui le rend essentiel pour les bâtiments nécessitant une protection contre l'incendie.

- **Perméabilité et étanchéité**

Perméabilité : Le béton standard est légèrement perméable à l'eau. Pour des structures soumises à des conditions humides ou en contact avec l'eau (comme les barrages, tunnels, ou fondations), des traitements spécifiques ou des bétons spéciaux sont utilisés pour réduire cette perméabilité.⁵⁴

⁵² Techniques de l'Ingénieur (n.d) <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-techniques-du-batiment-l-enveloppe-du-batiment-tiaebt2/archive-1/les-betons-speciaux-tba1022/>

⁵³ Techno-Science. (n.d.). Béton. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Beton-page-5.html#ref_8

⁵⁴ Techno-Science. (n.d.). Béton. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Beton-page-5.html#ref_8

- Étanchéité : Des additifs peuvent être ajoutés au mélange pour améliorer l'étanchéité, et des membranes peuvent être appliquées sur les surfaces pour rendre le béton imperméable.⁵⁵

- **Écologie et durabilité :**
 - Impact environnemental : La production du ciment, composant principal du béton, est responsable d'une importante émission de CO₂. Cependant, des efforts sont en cours pour améliorer l'empreinte écologique du béton, notamment par l'utilisation de ciment à base de matériaux alternatifs, le recyclage des granulats et l'intégration de matériaux biosourcés ou recyclés.
 - Recyclable : Le béton peut être recyclé après démolition pour être utilisé comme granulats dans la production de nouveau béton ou comme matériau de remplissage.

- **Esthétique et finitions**
 - Aspect brut ou travaillé : Le béton peut être laissé brut ou être travaillé pour obtenir diverses textures et finitions. Des techniques comme le béton matricé, le béton poli, le béton imprimé ou le béton coloré permettent de jouer avec les aspects esthétiques.
 - Béton translucide : Ce béton, avec des fibres optiques intégrées, permet de laisser passer la lumière, offrant des possibilités esthétiques inédites dans l'architecture.⁵⁶

I.5.2 Techniques constructives en béton :

Les techniques constructives de l'enveloppe architecturale en béton sont diversifiées et évolutives, reflétant les innovations dans les matériaux, les méthodes de construction et les attentes architecturales. L'enveloppe d'un bâtiment, constituée principalement des façades et des murs extérieurs, joue un rôle essentiel dans la performance énergétique, l'esthétique et la durabilité de l'édifice. Voici les principales techniques constructives appliquées à l'enveloppe architecturale en béton.

⁵⁵ Techno-Science. (n.d.). Béton. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Beton-page-5.html#ref_8

⁵⁶ Techno-Science. (n.d.). Béton. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Beton-page-5.html#ref_8

⁵⁶ Techno-Science. (n.d.). Béton. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Beton-page-5.html#ref_8

I.5.2.1 Béton préfabriqué :

Le béton préfabriqué est une technique qui consiste à fabriquer des éléments en béton en usine pour ensuite les assembler sur le chantier. Cette méthode présente plusieurs avantages :

- Gain de temps : Les éléments étant fabriqués en usine, les délais de construction sur site sont réduits.
- Qualité maîtrisée : Le contrôle en usine permet d'obtenir une qualité de finition élevée et régulière.
- Personnalisation : Les panneaux préfabriqués peuvent être texturés, colorés ou intégrer des motifs spécifiques.⁵⁷



Figure 20 : Structure de construction réalisée avec système de préfabriqué béton

Source : <https://www.tanguy.fr/nos-fabrications/prefx-prefabrique-beton-standard-et-sur-mesure>

I.5.2.2 Béton auto-plaçant :

Les bétons auto-plaçant sont maintenant couramment utilisés pour la fabrication de certains produits lourds et complexes (escaliers, poutres, murs à coffrages intégrés). Cette technique est idéale pour les enveloppes architecturales avec des formes complexes et des coffrages très serrés. Les avantages comprennent :⁵⁸

- Finition lisse : Permet d'obtenir des surfaces homogènes sans besoin de retouche.
- Réduction des défauts : Moins de bulles d'air et une meilleure adhérence aux armatures.
- Gain de temps : Réduction du temps de mise en œuvre sur site.⁵⁹

⁵⁷ Le moniteur.(2014) le béton préfabriqué dans la maison individuelle.pdf

⁵⁸ Le moniteur.(2014) le béton préfabriqué dans la maison individuelle.pdf

⁵⁹ Le moniteur.(2014) le béton préfabriqué dans la maison individuelle. https://www.fib.org/wp-content/uploads/2017/05/cahier_beton_prefabrique_et_maisons-individuelles.pdf

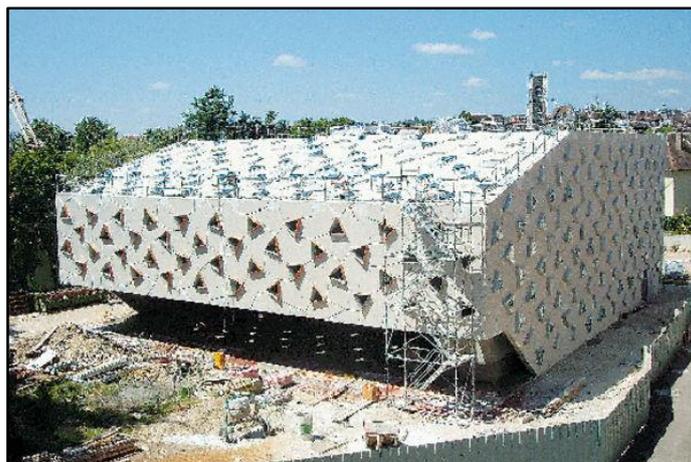


Figure 21 : enveloppe en béton auto-plaçant BAP

Source : <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/auxerre-carapace-en-beton-autoplacant-pour-espaces-de-concerts.27061>

I.5.2.3 Les bétons légers :

Les bétons légers, qui sont définis par une masse volumique inférieure à 2 000 kg/m³ (en pratique, entre 800 et 1 500 kg/m³) et impliquent l'utilisation de granulats particuliers (ponce, argile, ardoise expansée, bois), fournissent des réponses efficaces aux besoins de performances thermiques, acoustiques et mécaniques permettant des murs porteurs jusqu'à quatre niveaux.⁶⁰



Figure 22 : murs en béton léger

Source : <https://www.ebawe.de/fr/applications/elements-de-parois/mur-en-beton-leger>

⁶⁰ Le moniteur.(2014) *le béton préfabriqué dans la maison individuelle*. https://www.fib.org/wp-content/uploads/2017/05/cahier_beton_prefabrique_et_maisons-individuelles.pdf

I.5.2.4 Béton projeté :

Le béton projeté est un béton formulé à partir de ses constituants habituels, transporté dans un tuyau, accéléré par un jet d'air comprimé et mis en œuvre par projection sur un support auquel il adhère, ce qui permet de réaliser des enveloppes architecturales très sculpturales ou sur des surfaces irrégulières. Utilisé dans des environnements complexes ou pour des structures fines, le béton projeté offre :

- Grande liberté de forme : Adapté aux façades incurvées ou géométriques complexes.
- Résistance élevée : Utilisé souvent pour des revêtements protecteurs (tunnels, digues, piscines).
- Rapidité de mise en œuvre : Technique très efficace pour couvrir de grandes surfaces.⁶¹

La particularité du **béton projeté** c'est la technique de projection. Ou plutôt les techniques car il existe deux techniques de projection :

Projection du béton par voie sèche :

- Le **béton** que l'on va projeter **ne contient pas d'eau**. Le béton est encore au stade du mélange ciment + sable + gravier. L'eau est ajoutée au moment où la lance projette le béton sur la surface désignée. (*Cette méthode s'utilise pour les petits chantiers; et pour les opérations de réparation*).⁶²

Projection du béton par voie humide :

Le **béton** que l'on va projeter a **déjà été mouillé**. C'est grâce à la pression de l'air envoyé dans la lance que le béton est projeté. (*Avec cette méthode, on obtient des rendements élevés*).⁶³

⁶¹ Infociments. (n.d.). **Les bétons projetés : définition, techniques de projection, formulation, utilisations, avantages et inconvénients**. Infociments. <https://www.infociments.fr/betons/les-betons-projetes-definition-techniques-de-projection-formulation-utilisations-avantages-et-inconvénients>

⁶² Travaux Béton. (n.d.). **Tout savoir sur le béton projeté**. Travaux Béton. <https://travauxbeton.fr/beton-projete/>

⁶³ Travaux Béton. (n.d.). **Tout savoir sur le béton projeté**. Travaux Béton. <https://travauxbeton.fr/beton-projete/>

Chapitre théorique

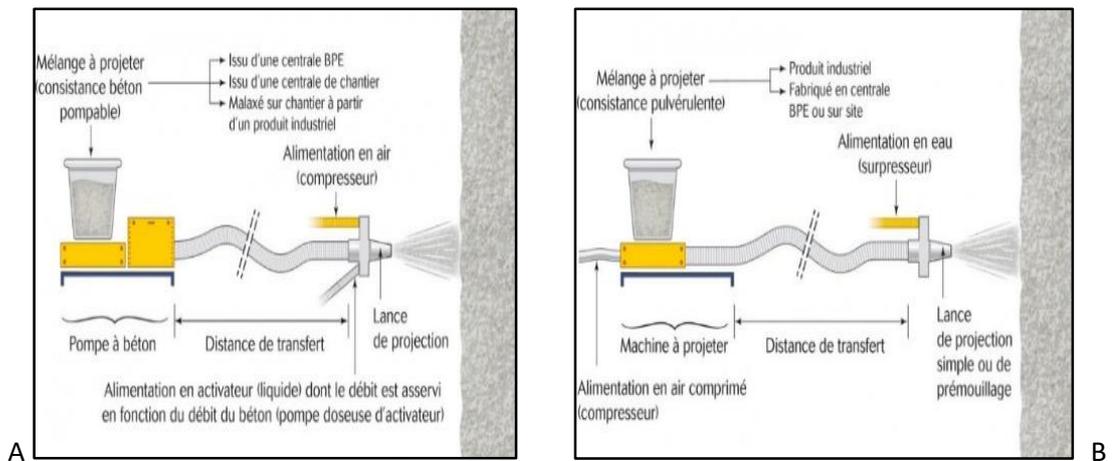


Figure 23 : A projection par voie mouillée et B projection par voie sèche.

Source : <https://www.infociments.fr/betons/les-betons-projetes-definition-techniques-de-projection-formulation-utilisations-avantages-et-inconvenients>

I.6 L'acier :

I.6.1 Le matériau acier :

L'acier est un matériau obtenu par la réduction du minerai de fer ou le recyclage de ferrailles. Le fer, largement présent dans l'écorce terrestre, est extrait sous forme de fonte, qui contient environ 96 % de fer et 3 à 4 % de carbone. La production industrielle d'acier, un matériau plus résistant et malléable que la fonte, a débuté vers la fin du XIXe siècle. Avant cela, on utilisait la fonte et le fer puddlé, chacun ayant ses limites en termes de résistance et de flexibilité. L'assemblage des structures métalliques a évolué, passant des rivets à la soudure et au boulonnage au cours du XXe siècle. L'acier, avec une masse volumique de 7850 kg/m³, a progressivement supplanté les autres métaux ferreux dans la construction.⁶⁴

I.6.2 Caractéristiques et comportement mécanique :

Toute structure subit des sollicitations ou actions extérieures qui provoquent des déformations, mais aussi des efforts internes, à savoir les contraintes. Les contraintes sont principalement de cinq natures différentes :

- la traction ;
- la flexion ;
- la compression et le flambement ;
- le cisaillement ;
- la torsion.

I.6.2.1 La traction :

- Phase élastique

Soumise à une traction suivant sa section, une barre en acier s'allonge uniformément jusqu'à une certaine limite, appelée limite d'élasticité. Il y a réversibilité du phénomène : si la charge est supprimée, la barre d'acier reprend sa dimension initiale (loi de Hooke). C'est la phase dite « élastique ».⁶⁵

- Phase plastique

Au-delà de la limite d'élasticité, l'allongement de la barre augmente même si la charge évolue peu, puis passe par une phase de déformation plastique où une

⁶⁴ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 06.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁶⁵ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 12.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

partie de l'allongement demeure permanent si la charge diminue. Ce phénomène est appelé écrouissage. L'allongement demeure permanent.⁶⁶

- Phase de rupture

Après une phase d'allongement, la charge diminue car la section d'acier diminue. Ce phénomène est appelé « striction ». Il y a alors rupture de la barre, la déformation totale est appelée « allongement à la rupture ».⁶⁷

I.6.2.2 La flexion

Considérons une poutre horizontale appuyée à ses deux extrémités et supportant un poids placé au milieu de sa portée. La force extérieure F exercée sur la poutre par la charge qu'elle supporte est perpendiculaire à son axe longitudinal. Elle génère ce qu'on appelle une flexion ou un moment fléchissant.

I.6.2.3 La compression et le flambement :

Le flambement est une instabilité qui survient dans les éléments allongés soumis à la compression, comme les poteaux et colonnes, lorsque la charge dépasse un certain seuil critique. Ce phénomène dépend du rapport entre la hauteur et la section de l'élément.⁶⁸

I.6.2.4 Le cisaillement ou effort tranchant :

Le cisaillement est une force interne qui agit sur une section d'un matériau lorsque des forces externes tentent de déplacer deux parties adjacentes dans des directions opposées. Contrairement à la tension ou à la compression, qui étirent ou compriment l'élément, le cisaillement provoque un déplacement parallèle à la surface, entraînant une déformation.

I.6.2.5 La torsion :

La torsion se produit lorsqu'une force est appliquée en dehors du plan passant par l'axe neutre d'un élément de structure, entraînant un couple de forces dont l'axe de rotation coïncide avec l'axe neutre de la poutre. Les profils creux sont plus rigides en torsion que les profils ouverts, et il est préférable d'éviter de solliciter les structures en torsion.⁶⁹

⁶⁶ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 12.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁶⁷ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 12.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁶⁸ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 14.): Eyrolles.

⁶⁹ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 15.): Eyrolles.

I.6.2.6 La fatigue :

Soumis à des efforts répétés alternés, tout matériau peut se fissurer et se rompre, alors que l'effort appliqué n'entraîne pas de contrainte supérieure à la limite de rupture. On parle de « fatigue ». ⁷⁰

I.6.2.7 Les variations de température :

Comme tous les matériaux, l'acier se dilate lorsqu'il est soumis à une augmentation de température. Ce phénomène est réversible dans des conditions normales. Le coefficient de dilatation linéaire de l'acier à température ambiante est de $1,22 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$. ⁷¹

I.6.2.8 Les sollicitations dynamiques :

Les structures peuvent être exposées à des chargements qui varient dans le temps, provoqués par des phénomènes tels que le vent, les charges roulantes, les séismes, les vagues ou les mouvements de foule. Tout comme pour les charges permanentes, une structure réagit également aux excitations dynamiques. ⁷².

I.6.2.9 Les formes de produits :

Pour obtenir leur forme finale et leurs caractéristiques mécaniques, les aciers utilisés dans la construction sont traités de plusieurs manières :

- Laminés : Ce sont les produits les plus fréquemment utilisés dans la construction métallique. Les demi-produits sont déformés successivement à travers des laminoirs, composés de cylindres qui compressent et étirent la masse encore relativement malléable en raison de sa température élevée. Un procédé ultérieur possible est le laminage à froid, principalement utilisé pour façonner des tôles minces, qui sont ensuite galvanisées et/ou pré-laquées. ⁷³
- Étirés ou tréfilés : Grâce à l'étirage ou au tréfilage (à chaud ou à froid), un produit déjà laminé est réduit à une section plus petite tout en étant allongé pour former des barres ou des fils. ⁷⁴
- On distingue alors :
- Produits longs (comme les poutrelles, palplanches, câbles, fils, et ronds à béton), obtenus par laminage à chaud, étirage ou tréfilage.

⁷⁰ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 16.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁷¹ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 16.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁷² Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 16.): Eyrolles.

⁷³ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 07.): Eyrolles.

⁷⁴ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 07.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

- Produits plats (telles que les tôles, bardages, profils minces, et profils creux), qui subissent généralement un laminage à froid supplémentaire, à l'exception des tôles de forte épaisseur.⁷⁵

D'autres procédés de fabrication, moins courants, comme le forgeage et le moulage, existent également pour produire certaines pièces.

I.6.3 Techniques d'application :

I.6.3.1 Façades lourdes :

La façade devient lourde lorsque le remplissage entre ou devant les poteaux et poutres est en matériaux maçonnés, tels que des briques ou des parpaings. L'attache de ces matériaux à la structure porteuse se fait soit par l'intermédiaire d'une structure secondaire, soit via des pattes en inox soudées à la structure, insérées dans les joints horizontaux des lits de maçonnerie. Il est important de noter que la façade elle-même n'est pas porteuse, car c'est la structure métallique qui supporte les charges du bâtiment. Cependant, le remplissage peut contribuer au contreventement de la structure.⁷⁶

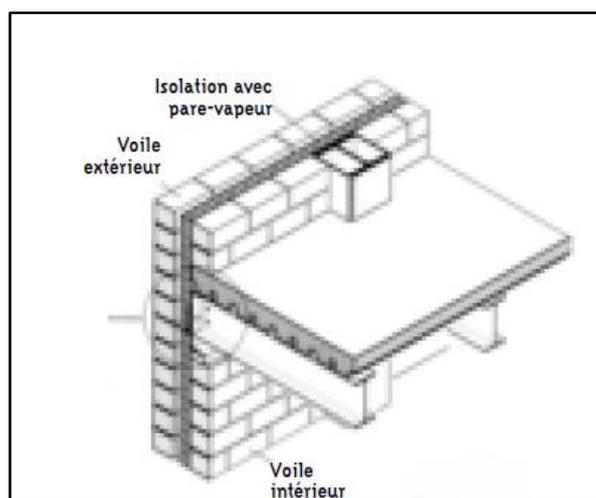


Figure 24 : façade lourde avec ossature métallique.

Source : <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁷⁵ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 07) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁷⁶ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 68) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

I.6.3.2 Façades légères :

Dans le cas d'une ossature de bâtiment avec des voiles transversaux ou des points porteurs, il existe trois alternatives au remplissage des façades en maçonnerie : ⁷⁷

- Une façade rideau.
- Des panneaux de façade pour fermer les espaces entre les éléments de structure.
- Un bardage.

- Façade rideau :

La façade rideau se compose d'une ou plusieurs parois s'étendant généralement en continu devant le plancher. Elle n'est pas porteuse et transmet les charges horizontales dues au vent et son propre poids à une ossature secondaire, qui les transfère ensuite à la structure du bâtiment via ses fixations.

L'ossature secondaire est généralement constituée de lisses verticales ou horizontales, devant être bien hiérarchisées lors de la conception. Les éléments de remplissage, qui peuvent être en bois, en verre ou en métal, sont fabriqués en usine avec des dimensions précises, ayant une tolérance d'environ un millimètre. Étant donné que cette précision est difficile à atteindre sur le chantier, il est essentiel de prévoir un réglage dans les trois directions pour les fixations des composants, afin de compenser les écarts. De plus, la dilatation thermique de la façade doit être libre, d'où la nécessité de laisser des jeux dans les fixations. ⁷⁸

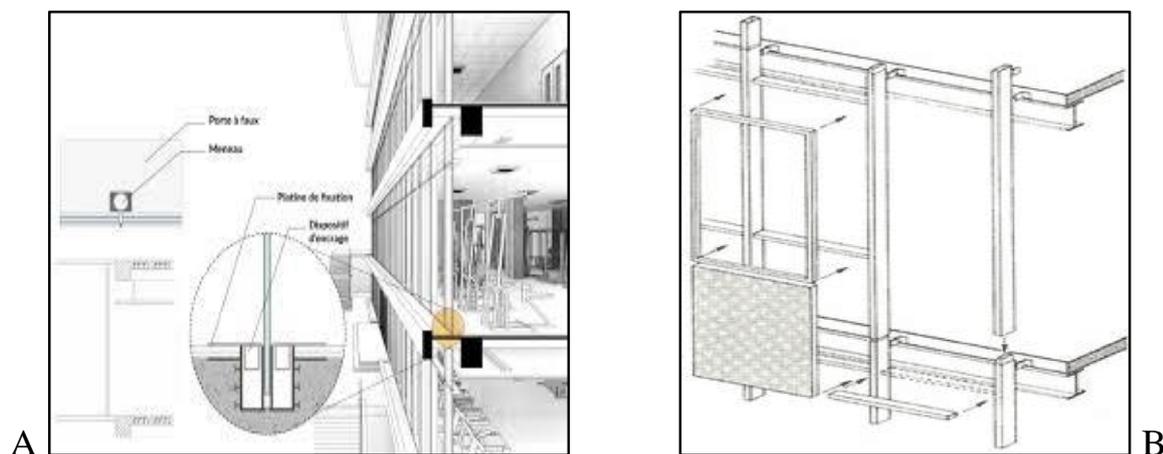


Figure 25 : détail murs rideau à 2 types d'ossatures **A** horizontale et **B** verticale.

Source : <https://it.pinterest.com/pin/725572189950882939/>

⁷⁷ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 68) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁷⁸ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 69) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

- Façade panneau :

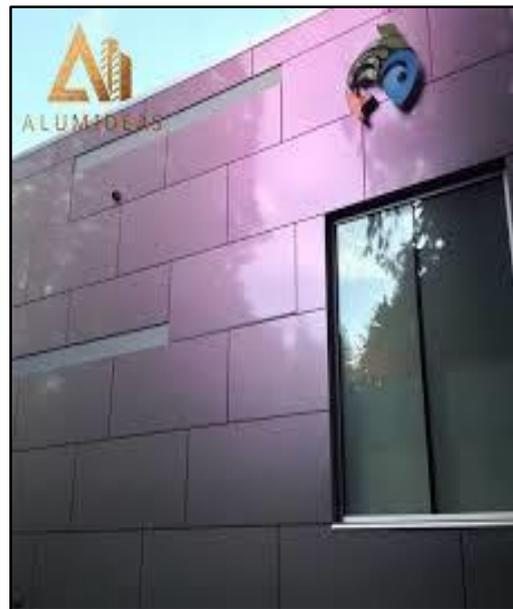
La façade panneau est composée de panneaux placés entre deux planchers consécutifs, sans ossature secondaire ni raidisseur. Ces panneaux peuvent s'étendre sur toute la hauteur d'un étage, créant une continuité horizontale sans interruption par la structure verticale. Si les panneaux ne suivent pas cette configuration, il est crucial de prêter attention aux joints pour assurer une bonne isolation thermique ainsi qu'une étanchéité à l'eau et à l'air.⁷⁹

Il existe deux types de panneaux de remplissage en acier :

- a) Panneaux simples : assemblés sur le chantier avec un isolant thermique.
- b) Panneaux composites : intégrant les parements intérieur et extérieur ainsi que l'isolant thermique.

Bien que les panneaux standards disponibles dans les catalogues des fabricants soient généralement utilisés, il est également possible de concevoir des panneaux spécifiques adaptés aux besoins d'un projet de construction.⁸⁰

A



B

Figure 26 : A murs rideau, et B en panneaux composites.

Source : https://fr.made-in-china.com/co_shaneok/product_Building-Project-Facade-Panels-Exterior-Aluminum-Double-Glass-Curtain-Walls_ysyosiruog.html

⁷⁹ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 70) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁸⁰ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 70) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

- Les bardages :

Il s'agit d'un système où les éléments en tôle d'acier nervurée sont juxtaposés par recouvrement. La ventilation et le drainage sont les deux notions à intégrer dans tout type de bardage.⁸¹

Le bardage, initialement conçu pour les constructions industrielles, est de plus en plus utilisé dans divers projets architecturaux, notamment pour des logements et des équipements publics, en raison de sa simplicité et de son faible coût. Il peut être installé verticalement ou horizontalement et est souvent cintré. Une gamme d'accessoires, tels que des angles et des fixations, complète les profils. La surface est protégée par une peinture cuite au four, offrant de nombreuses options de nuances.⁸² On distingue les types de bardages suivants :

- ❖ Bardage simple peau :

Le bardage se compose d'une paroi métallique fixée à une ossature secondaire, qui est constituée de lisses horizontales ou de montants verticaux. L'espacement entre ces lisses ou montants varie en fonction de l'épaisseur de la tôle et de la section des nervures. Ce type de bardage est principalement utilisé dans la construction de hangars ou d'entrepôts, où l'isolation thermique ou acoustique n'est pas nécessaire.⁸³

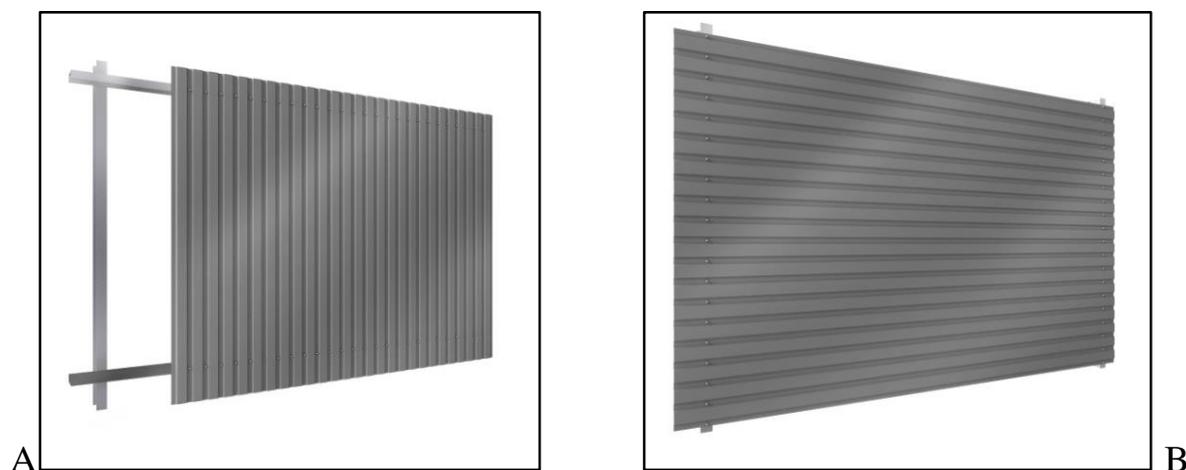


Figure I.25 : Source : <https://www.enveloppe-metallique.fr/2016/04/07/b12-test/>

⁸¹ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 72) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁸² Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 72) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁸³ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 72) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

❖ Bardage double-peau :

Le système se compose d'un parement extérieur en acier et d'un parement intérieur constitué de plateaux en acier fixés à l'ossature principale. Pour une configuration simple, les plateaux peuvent être laissés apparents à l'intérieur. Ces plateaux permettent d'installer l'isolant, de créer un vide d'air nécessaire et de soutenir le parement extérieur. De plus, le parement intérieur peut être perforé pour améliorer l'absorption acoustique. Pour renforcer l'affaiblissement acoustique, un isolant en deux couches (laine de verre et feutre absorbant) peut être utilisé.⁸⁴

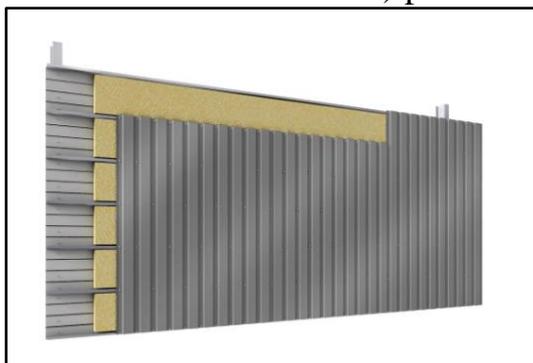


Figure 28 : bardage double peau en pose verticale.

Source : <https://www.enveloppe-metallique.fr/2016/04/07/b-5-bardage-en-acier-double-peau-en-pose-verticale-avec-plateaux-pleins-sans-ecarteurs-et-en-2-lits-disolant/>

- Bardage de panneaux composites :

On peut aussi employer des panneaux sandwich en bardage, en pose verticale ou horizontale. Ils assurent alors une double fonction d'enveloppe et d'isolation.⁸⁵

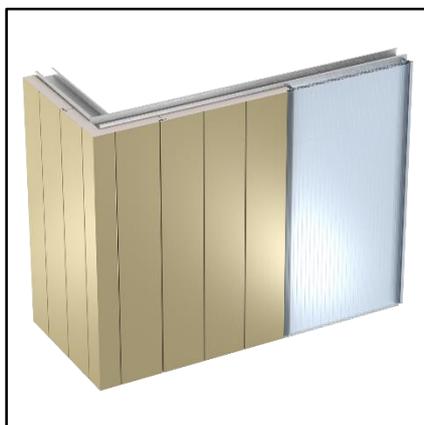


Figure 29 : bardage de panneau sandwich.

Source : <https://www.kingspan.com/fr/fr/produits/panneaux-sandwich-isolants/facade/panneau-sandwich-de-facade-gamme-quadcore-evolution/>

⁸⁴ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 73) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

⁸⁵ Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 73) : Eyrolles <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf>

I.7 Le verre :

I.7.1 Notion de nouveau matériau :

Les matériaux innovants, tels que les composites, se distinguent par leurs caractéristiques mécaniques et physicochimiques, offrant des avantages supérieurs aux matériaux traditionnels. Les composites, formés par la combinaison de deux matériaux différents, améliorent les performances globales.

L'innovation dans ce domaine repose sur la centralité de l'information et des connaissances. La structure organisationnelle optimale émerge lorsque les réseaux sont équilibrés, axés sur les nouvelles technologies, et sans position dominante. L'homogénéité des compétences dans ces réseaux facilite les échanges informels et individuels, souvent dans des zones géographiques concentrées. Le secteur de la protection de l'environnement présente de grandes opportunités pour le développement de ces matériaux.⁸⁶

I.7.2 Le matériau verre :

Le verre est un corps solide, non cristallin (amorphe), homogène, provenant du figeage progressif de certaines substances après fusion. Le verre est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler, transparent et peut prendre de nombreuses formes.⁸⁷

I.7.3 Principaux types de vitrage :

Les vitrages, initialement destinés aux fenêtres, sont aujourd'hui largement utilisés dans les façades de grands projets architecturaux modernes. Le verre combine esthétique, fonctionnalité et technologie, offrant transparence tout en permettant la vision, l'éclairage naturel et l'efficacité énergétique. Au-delà de la transparence, les nouveaux vitrages doivent aussi remplir des fonctions spécifiques comme l'isolation thermique, acoustique, et la sécurité. Le choix d'un vitrage dépend de ses performances dans ces domaines pour assurer un confort optimal aux occupants du bâtiment.⁸⁸

⁸⁶ Dr. AATTACHE ,A(2017). *NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT*. (p : 01)

https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

⁸⁷ Dr. AATTACHE ,A(2017). *NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT*. (p :02)

https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

⁸⁸ Dr. AATTACHE ,A(2017). *NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT*. (p :09)

https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

I.7.3.1 Verre de base :

I.7.3.1.1 Le simple vitrage ou verre recuit :

Le verre float est obtenu en faisant flotter du verre fondu sur un bain de métal en fusion, créant une feuille à épaisseur constante. Il est ensuite refroidi progressivement dans un four pour éliminer les tensions internes, ce qui facilite la découpe. Ce verre, transparent ou coloré, possède des faces planes et parallèles, lui conférant des propriétés idéales pour les constructions modernes.⁸⁹

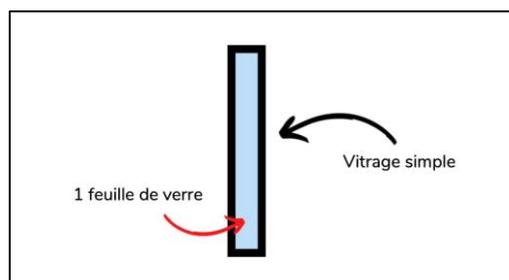


Figure 30 :vitrage simple.

Source : <https://www.glassfonster.fr/blog/guide/choisir-double-simple-vitrage>

I.7.3.1.2 Le verre armé :

Un verre avec un treillis métallique est fabriqué en incorporant un réseau métallique lors de la production. Ce treillis permet de maintenir les morceaux de verre en place en cas de bris, mais n'améliore ni la résistance mécanique ni la performance thermique. Ce type de vitrage offre des performances équivalentes à celles d'un simple vitrage.⁹⁰

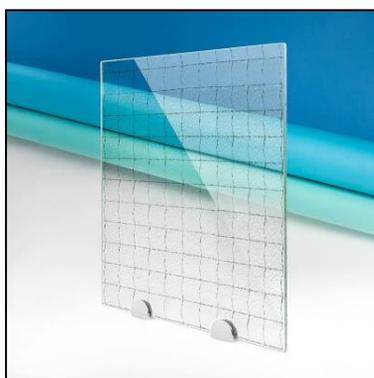


Figure 31 : exemple verre armé.

Source : <https://lacentraleduverre.com/verres-specifiques/66-verre-arme.html>

⁸⁹ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 09)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

⁹⁰ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 10)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

I.7.3.1.3 Le verre imprimé :

Le verre imprimé est obtenu par coulée continue, dont une ou les deux faces comportent des dessins réalisés en faisant passer la feuille de verre entre des rouleaux texturés au moment du laminage. La figure II.6 présente un verre imprimé de décoration.⁹¹



Figure 32 : bâtiment avec enveloppe en verre imprimé.

Source : <https://parametric-architecture.com/mvrdv-creates-a-sparkling-diamond-facade-for-tiffany-co-in-shanghai/>

I.7.3.1.4 Le verre profilé :

Le verre profilé est un verre recuit, obtenu par coulée continue, laminage et formage, souvent en forme de U. Il peut inclure des fibres métalliques pour créer du verre profilé armé. Conçu en double paroi pour les bâtiments à faible humidité, il limite la condensation entre les parois. Ce verre s'utilise pour les parois intérieures et extérieures, mais n'est pas approprié pour des applications nécessitant un vitrage de sécurité, comme les toits ou les zones à risque de chute.⁹²

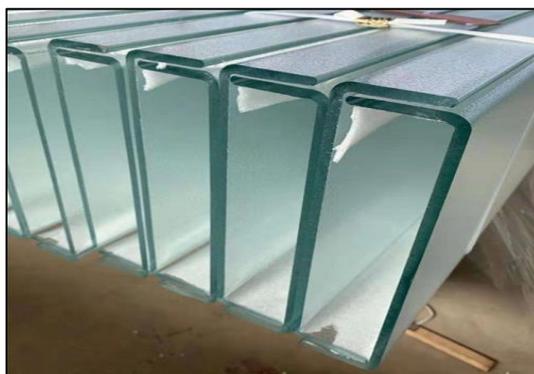


Figure 33 : le verre profilé.

⁹¹ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 10)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

⁹² Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 11)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

Source : <https://www.archiexpo.fr/fabricant-architecture-design/verre-profile-81404.html>

I.7.3.2 Verres transformés :

I.7.3.2.1 Le verre trempé :

Le verre trempé subit un traitement thermique qui améliore sa résistance aux contraintes mécaniques et thermiques. Ce processus implique un chauffage à 600-650 °C suivi d'un refroidissement rapide. Une fois trempé, le verre ne peut plus être découpé. En cas de bris, il se fragmente en petits morceaux non coupants, réduisant ainsi le risque de blessures. Ce type de verre est couramment utilisé dans les constructions, notamment pour les portes, balustrades et cabines de douche.⁹³



Figure 34 : différents types de verre.

Source : <https://norvawindow.com/wp-content/uploads/2021/08/glasscomparison.png>

I.7.3.2.2 Le verre feuilleté :

Le verre feuilleté est constitué de deux ou plusieurs feuilles de verre assemblées avec des films plastiques, de la résine ou un gel. L'adhérence est obtenue par un traitement thermique pour les films plastiques (via autoclave) ou par le durcissement de la résine sous lampes UV. Ce type de verre ne peut pas être découpé, scié, percé ou façonné, ce qui le rend particulièrement adapté à des applications nécessitant une sécurité accrue.⁹⁴

⁹³ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 12)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

⁹⁴ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 13)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

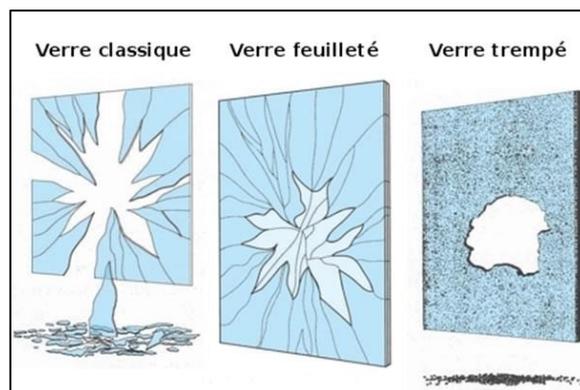


Figure 35 : différents types de verre en cas de casse

Source : <https://www.vitrierieglass.com/simple-vitrage-verre-feuille/>

I.7.3.3 Le vitrage isolant :

Ces vitrages offrent une isolation thermique et acoustique efficace, permettant de réaliser des économies d'énergie significatives tout en installant de grandes fenêtres sans les inconvénients habituels. Ils se composent d'au moins deux plaques de verre, séparées par un espaceur au niveau des bords. On distingue :⁹⁵

I.7.3.3.1 Le double vitrage :

Le double vitrage consiste à assembler deux feuilles de verres séparées par une lame d'air (espace hermétique) ou un gaz déshydraté améliorant l'isolation thermique (souvent de l'argon). Le but premier de cet assemblage est de bénéficier du pouvoir isolant apporté par la lame d'air ou de gaz. Le double vitrage se compose des éléments suivants : ⁹⁶

- Deux feuilles de verre ;
- Un espaceur ou intercalaire en aluminium ou acier séparant les deux feuilles de verre ;
- Etanchéité périphérique est assurée par des joints organiques (ex : le mastic) ;
- Des agents déshydratant sont contenus dans l'intercalaire qui vont empêcher l'humidité de l'air de pénétrer entre les vitres est, la plupart du temps, ajouté à l'ensemble pour éviter la formation de buée. Il s'agit de petites billes poreuses, placées sous l'intercalaire absorbant l'humidité (système d'assemblage périphérique).

⁹⁵ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 14)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

⁹⁶ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 14)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

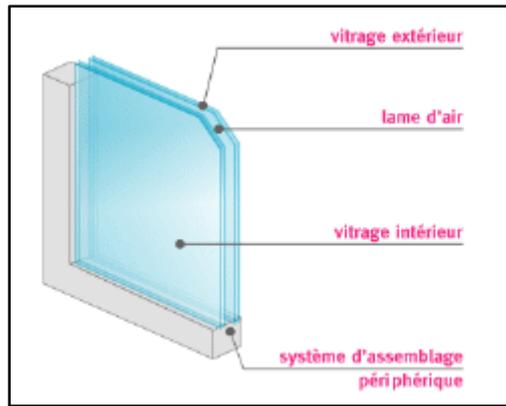


Figure 36 : schéma d'un double vitrage classique.

Source : <https://www.linternaute.com/bricolage/amenagement-interieur/1032565-bien-choisir-son-double-vitrage/1032567-caracteristiques>

I.7.3.3.2 Le triple vitrage :

Ce type de vitrage améliore l'isolation en intégrant une troisième plaque de verre, séparée par deux lames d'air ou de gaz. Cela entraîne également une augmentation de l'épaisseur et du poids du vitrage. Par ailleurs, les transmissions solaires et lumineuses sont réduites.⁹⁷

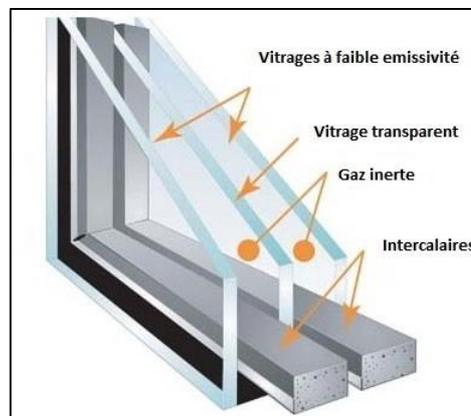


Figure 37 : schéma d'un triple vitrage.

Source : https://conseils-thermiques.org/contenu/triple_vitrage.php

I.7.3.3.3 Vitrage à isolation renforcée :

Le vitrage à isolation renforcée (VIR), également appelé vitrage à basse émissivité, est conçu pour offrir une meilleure isolation thermique par rapport aux vitrages classiques. Il est doté d'un revêtement spécial à base de particules

⁹⁷ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 15)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

métalliques, généralement appliqué sur l'une des faces internes du verre, qui réduit les pertes de chaleur.⁹⁸

Le principe de fonctionnement selon la figure suivante :

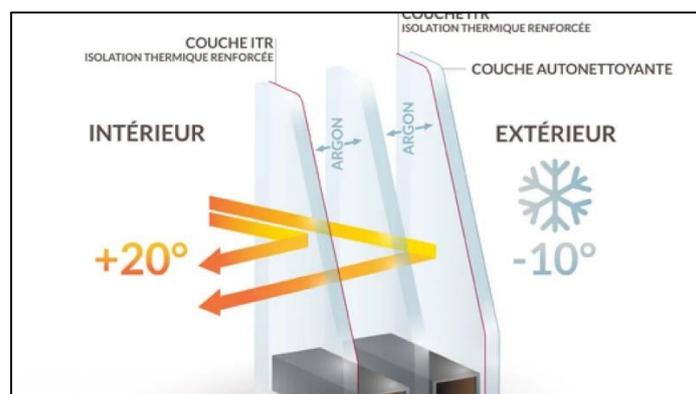


Figure 38 : schéma de principe de fonctionnement d'un triple vitrage à isolation renforcée.

Source : <https://www.notretemps.com/droit-argent/logement/triple-vitrage-utile-mais-dans-des-cas-precis-17910>

I.7.3.3.4 Double vitrage dissymétrique :

Le double vitrage dissymétrique se caractérise par l'utilisation de deux vitres de différentes épaisseurs, généralement une plus épaisse que l'autre, afin d'améliorer l'isolation phonique en réduisant plus efficacement les bruits extérieurs. Cet assemblage comporte également un espace d'air ou de gaz isolant (comme l'argon) entre les deux vitres, ce qui contribue à maintenir une isolation thermique performante. Ainsi, ce vitrage offre à la fois une protection contre les nuisances sonores et une isolation thermique comparable au double vitrage classique, tout en étant particulièrement adapté aux environnements bruyants.⁹⁹

⁹⁸ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 17)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

⁹⁹ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 18)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

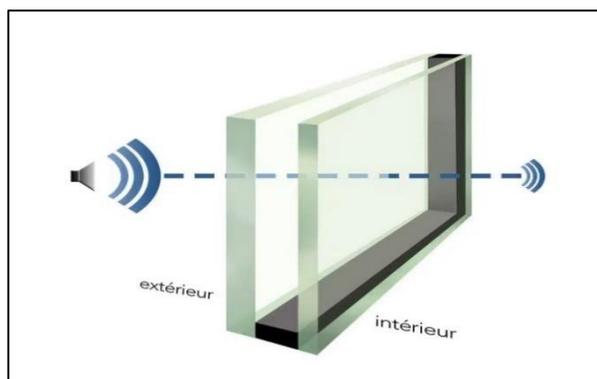


Figure 39 : principe du double vitrage dissymétrique.

Source : <https://www.lesateliersdupevele.fr/blog-article/quel-type-de-vitrage-choisir/>

I.7.3.3.5 Le verre autonettoyant :

Ce type de vitrage est constitué d'un verre "Float" recouvert, sur sa face extérieure, d'une fine couche de matériau minéral hydrophile et photo-catalytique. Cette couche permet au vitrage de bénéficier de propriétés autonettoyantes tout en conservant le même degré de transparence que les vitrages classiques. Grâce à son revêtement, la surface réagit à la lumière du soleil pour décomposer les salissures organiques, et l'eau de pluie s'étale uniformément sur le verre pour éliminer les résidus, rendant ainsi le nettoyage moins fréquent.¹⁰⁰



Figure 40 : **A** Vitrage normale, **B** vitrage autonettoyant BIOCLEAN

Source : <https://www.vitrier-paris-express.com/actualites/18-le-vitrage-autonettoyant/>

Chaque type de vitrage est choisi en fonction de la fonction architecturale, des contraintes thermiques et acoustiques, de la sécurité, ainsi que de l'esthétique.

¹⁰⁰ Dr. AATTACHE ,A(2017). NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT. (p : 23)
https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

Conclusion :

En conclusion, les différentes techniques et matériaux constructifs de l'enveloppe architecturale durable jouent un rôle fondamental dans la création de bâtiments respectueux de l'environnement et économiquement viables. En intégrant des matériaux écologiques, tels que le bois, la paille, ou des composites recyclés, et en utilisant des techniques de construction innovantes comme l'isolation thermique par l'extérieur, la gestion des eaux pluviales, et la ventilation naturelle, il est possible de concevoir des enveloppes qui optimisent l'efficacité énergétique et le confort des occupants.

Ces solutions permettent non seulement de réduire l'empreinte carbone des bâtiments, mais aussi d'améliorer leur durabilité et leur résistance aux aléas climatiques. De plus, une attention particulière portée à l'orientation, à la lumière naturelle, et à la protection solaire contribue à minimiser la consommation d'énergie tout en créant des espaces de vie sains et agréables.

En somme, l'adoption de techniques et de matériaux constructifs durables pour l'enveloppe architecturale est essentielle pour répondre aux défis environnementaux actuels, favoriser le développement durable, et garantir un avenir où l'architecture harmonise confort, esthétique et respect de la nature. C'est un investissement dans la qualité de vie des générations présentes et futures.

II L'enveloppe architecturale :

Introduction :

L'enveloppe du bâtiment est désormais perçue comme un élément essentiel dans la régulation du confort intérieur, allant au-delà de son simple rôle de protection contre les intempéries. Les systèmes mécaniques de climatisation ne sont plus les seuls moyens de créer un environnement confortable ; l'enveloppe joue un rôle actif en intégrant des solutions passives basées sur les conditions climatiques et les ressources renouvelables. Sa conception permet non seulement d'améliorer l'efficacité énergétique, mais aussi de définir les aspects esthétiques et formels du bâtiment.¹⁰¹

II.1 La définition de l'enveloppe architecturale :

- ❖ "C'est une sorte de peau séparant l'extérieur de l'intérieur d'un bâtiment" (Bermstein, D. et al 1997).
- ❖ L'enveloppe exprime l'apparence d'un ouvrage et communique avec son environnement. Elle filtre et organise les sons, la lumière et les couleurs, l'ensoleillement et l'ombre, les vues et le chaud et le froid. (Bermstein, D. et al 1997).

L'enveloppe du bâtiment peut être considérée sous différents aspects :

- **Pour le thermicien**, c'est une zone de transition entre une ambiance intérieure et un environnement extérieur ;
- **Pour l'architecte** : c'est une zone de contact entre le bâtiment et la ville.
- **Pour l'ingénieur** : c'est le point de liaison entre des composants passifs et des systèmes actifs.
- **Pour le chef de projet** : c'est l'objet sur lequel il va coordonner les interventions de différents corps de métier, depuis le concepteur jusqu'aux ouvriers ;
- **Pour le législateur**, c'est un des éléments caractéristiques du bâtiment pour lequel il cherchera à rapprocher le plus possible les technologies performantes disponibles et des exigences réglementaires généralisables ;

¹⁰¹ Mme Amraoui ,Kh.Doctorat . *Pour une optimisation des potentialités environnementales de l'enveloppe architecturale dans le contexte des zones chaudes et arides :Cas des bâtiments résidentiels.* UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA.(p :15)

- **Pour l'occupant** enfin, ces parois qui l'entourent sont des éléments de confort thermique et visuel et constituent un facteur d'esthétique de son bâtiment.¹⁰²

II.2 Le développement de la notion l'enveloppe à travers l'histoire :

Le développement de l'enveloppe du bâtiment témoigne d'une évolution constante, influencée par des facteurs culturels, technologiques et environnementaux. Cette progression reflète une quête d'un équilibre entre confort, esthétique et durabilité, essentiel pour répondre aux enjeux architecturaux modernes.

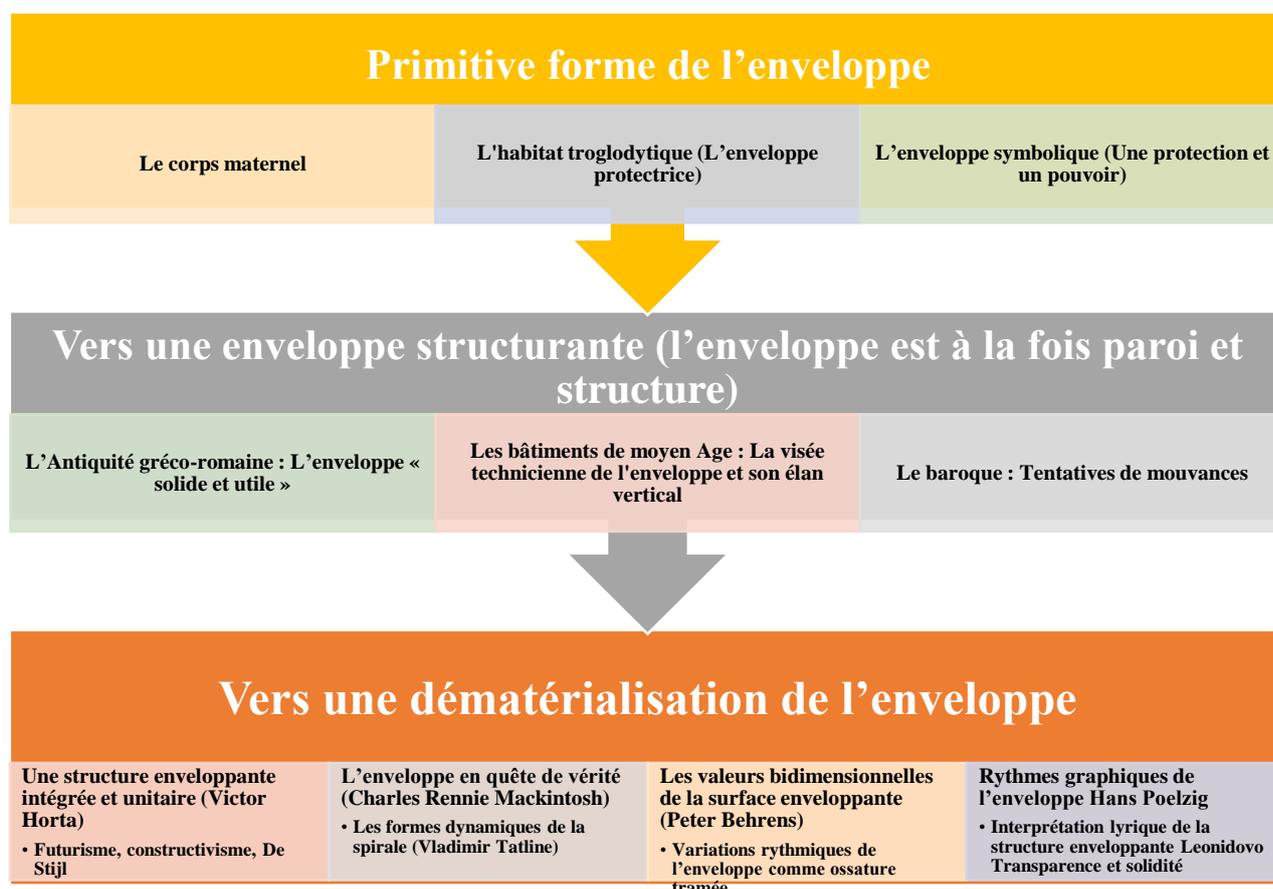


Tableau 1 : Le développement de la notion l'enveloppe à travers l'histoire

Source : GUERRAM , GH ET LOUAFI ,I. MASTER. L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE BATIMENT TERTIAIRE SURE LE CONFORTE THERMIQUE. UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI – OEB

¹⁰² GUERRAM , GH ET LOUAFI ,I. MASTER. L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE BATIMENT TERTIAIRE SURE LE CONFORTE THERMIQUE. UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI – OEB.(p :43)

II.3 Les types de l'enveloppe architecturale :

Selon CERTU, on distingue deux types de l'enveloppe architecturale variant selon leur rôle et leur matérialité :

II.3.1 L'enveloppe porteuse :

On parle d'enveloppe porteuse lorsqu'elle soutient à la fois le plancher et la charpente, elle est principalement composée de béton armé et se caractérise par une grande épaisseur. (CERTU, 2003)



Figure 41 : murs porteurs en béton armé.

Source : <https://www.batiproduits.com/fiche/produits/murs-porteurs-en-beton-arme-maison-bleue-p267202678.html>

II.3.2 L'enveloppe non porteuse :

Par définition elle est l'antagoniste de l'enveloppe porteuse, car elle ne participe pas à la stabilité de la construction. Selon (CERTU, 2003) on peut distinguer deux types d'enveloppes non porteuses :

II.3.2.1 L'enveloppe légère :

Elle peut être composée de plusieurs parois. Grâce à la robustesse de l'ossature, les murs-panneaux constituent l'enveloppe architecturale de l'enveloppe légère (CERTU, 2003).



Figure 42 : façade légère. (mur rideau)

Source : <https://verrefeuillete.com/murs-rideaux-et-facades-en-verre/>

II.3.2.2 L'enveloppe en remplissage maçonné < 15cm d' épaisseur :

Elle correspond à la petite maçonnerie et définit les contours de l'ossature du bâtiment (CERTU, 2003).

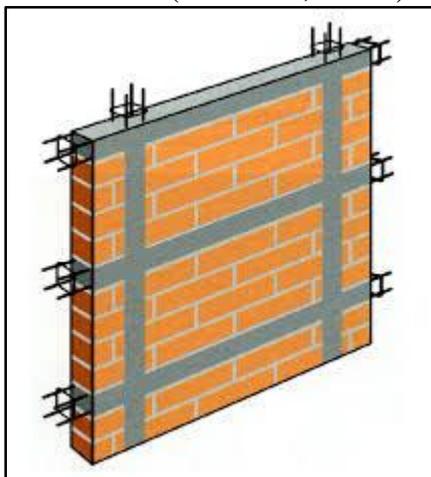


Figure 43 : schéma d'un mur en maçonnerie .

Source : <https://www.batirama.com/article/161-maçonnerie-eviter-les-fissures-avec-les-renforts-metalliques.html>

II.4 Classification des enveloppes :

II.4.1 Selon le principe de fonctionnement :

on distingue deux types :

II.4.1.1 L'enveloppe simple :

Il s'agit d'une enveloppe conçue pour délimiter un espace et le protéger des influences extérieures telles que le vent, la pluie, la neige, les rayons du soleil et le bruit.¹⁰³

II.4.1.2 L'enveloppe ventilée :

Une enveloppe avec des ouvertures et des joints de revêtement extérieurs ouverts pour empêcher la surchauffe et/ou la condensation de la paroi et de la couche isolante grâce à la ventilation où l'air circulant entre l'isolation et le revêtement.¹⁰⁴

¹⁰³ GUERRAM , GH ET LOUAFI ,I. MASTER. L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE BATIMENT TERTIAIRE SURE LE CONFORTE THERMIQUE. UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI – OEB

¹⁰⁴ GUERRAM , GH ET LOUAFI ,I. MASTER. L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE BATIMENT TERTIAIRE SURE LE CONFORTE THERMIQUE. UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI – OEB

II.4.2 Selon les matériaux de construction :

Type d'enveloppe	Exemple
Enveloppe en pierre	 <p>Figure 44 : maison en pierre.</p> <p>Source : https://soigner-l-habitat.com/murs-en-pierre-leurs-atouts-et-contraintes/</p>
Enveloppe en brique	 <p>Figure 45 : maison en brique</p> <p>Source : https://monprojetmeschoix.com/brique-monomur/</p>
Enveloppe en bois	 <p>Figure 46 : maison en bois .</p> <p>Source : https://www.construiesamaison.com/construire/maison-en-bois-4-techniques-de-construction/a18754</p>
Enveloppe en béton	 <p>Figure 47 : maison en béton</p>

Chapitre théorique

	<p>Source : https://www.maltezmaconnerie.fr/details-construction+de+maison+en+beton+a+lyon+et+sa+region-127.html</p>
Enveloppe en métal	 <p>Figure 48 : Batiment métallique cubique Source : https://www.techni-contact.com/produits/127-10208678-batiment-metallique-cubique.html</p>
Enveloppe en verre	 <p>Figure 49 : le studio basé à Seattle E. Cobb Architects et porte le nom Glass Graham House Source : https://deavita.fr/design-exterieur/maison-verre-design-moderne-architectes/</p>
Enveloppe végétalisée	 <p>Figure 50 : façade végétalisée de l'Hôtel Belleville à Paris Source : https://www.batirama.com/article/45423-tracer-urban-nature-pare-l-hotel-belleville-d-une-facade-vegetale.html</p>

Tableau 2 : les différents types de l'enveloppe selon les matériaux.

II.4.3 Selon le nombre de couche :

II.4.3.1 L'enveloppe monocouche :

L'enveloppe monocouche se caractérise par une seule couche de matériau, qui assure à la fois la protection contre les éléments extérieurs (vent, pluie, neige, rayonnement solaire) et l'isolation thermique et acoustique. Elle remplit ainsi toutes les fonctions de l'enveloppe avec une épaisseur réduite, mais peut nécessiter des matériaux de haute performance pour garantir une efficacité optimale dans des conditions climatiques variées.¹⁰⁵

II.4.3.2 L'enveloppe multicouche :

C'est une enveloppe qui portent plusieurs couches (peaux) la première est simple et la deuxième est ventilée.¹⁰⁶



Figure 51 : une double peau métal suspendu à la toiture.

Source : <https://www.lemoniteur.fr/article/une-double-peau-de-metal-suspendue-a-la-toiture.473109>

II.4.4 Selon la forme : Vers de nouvelle forme

II.4.4.1 L'enveloppe sculpturale :

Les nouvelles formes d'enveloppes générées par l'outil informatique et présentées dans le monde virtuel peuvent être regroupées en deux catégories : l'architecture sculpturale et l'architecture biomorphique.

¹⁰⁵ GUERRAM , GH ET LOUAFI ,I. MASTER. L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE BATIMENT TERTIAIRE SURE LE CONFORTE THERMIQUE. UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI – OEB

¹⁰⁶ GUERRAM , GH ET LOUAFI ,I. MASTER. L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE BATIMENT TERTIAIRE SURE LE CONFORTE THERMIQUE. UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI – OEB



Figure 52 : une architecture sculpturale et dynamique.

Source : <https://amusementlogic.fr/nouvelles-de-lentreprise/batiment-cubique-pour-un-centre-commercial/>

II.4.4.2 le pli, le ruban :

Le pli et le ruban représentent de nouvelles explorations formelles utilisées par les architectes pour apporter une fluidité aux enveloppes de leurs projets. Ces techniques, axées sur la recherche de la forme, s'apparentent à la sculpture. Elles ont avant tout une vocation esthétique, favorisant des lignes plus douces, sans angles droits, et un aspect moins abrupt. Ce concept a d'abord émergé dans le domaine du design, entre 1969 et 1972.¹⁰⁷

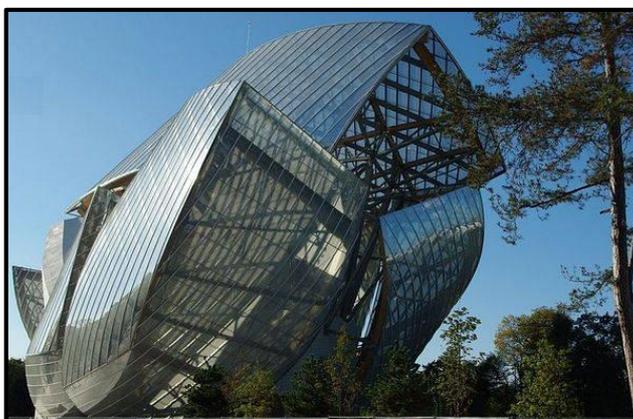


Figure 53 : Franck Gehry, *Fondation Louis Vuitton*

Source : <https://perezartsplastiques.com/2018/06/08/architecture-de-plis-3eme-cycle-4/>

II.4.4.3 L'enveloppe biomorphique :

L'architecture biomorphique se présente comme l'héritière de l'architecture organique de Frank Lloyd Wright en raison de son lien avec la nature.

¹⁰⁷ Haddig,A,kh. *L'enveloppe architecturale élément de régulation thermique cas des bâtiments administratifs dans les zones arides le projet : la direction de la DLEP à Eloued.mémoire de master.université Med-khider Biskra.*

Deux approches distinctes peuvent être identifiées : la Blob architecture et l'environnement numérisé.¹⁰⁸

II.4.4.3.1 L'enveloppe organique :

L'architecture organique c'est des formes empruntées à la nature, des coins arrondis, des matériaux durables – l'homme n'est jamais autant au centre que dans ce courant architectural. L'architecture organique est un style qui contribue à la modernité et s'oppose à l'historicisme.¹⁰⁹

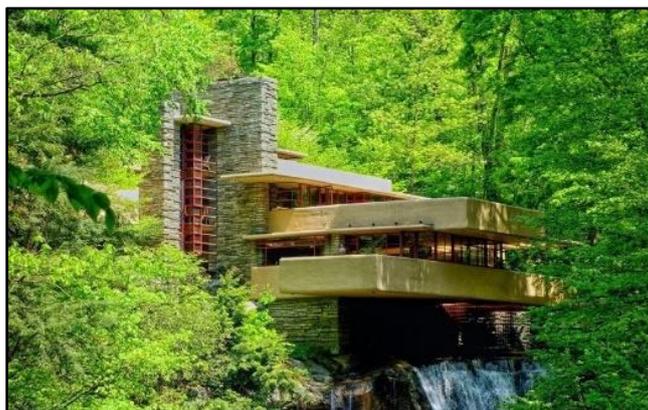


Figure 54 : House Fallingwater. Frank Lloyd Wright

Source : <https://myhome.at/fr/architecture-organique/>

II.4.4.3.2 L'enveloppe Blob :

La blob architecture ou blobitecture ou encore architecture de blobs, de « blob » en anglais signifiant « tache » ou « goutte », est un terme donné à un courant architectural dans lequel les bâtiments ont une forme organique molle et bombée, et plus généralement pour les architectures organiques « gonflées » ou courbées.

Le terme « architecture blob » a été introduit par l'architecte Greg Lynn en 1995, lors de ses travaux sur la conception numérique avec le logiciel Metaball. Par la suite, de nombreux architectes et designers de meubles ont commencé à utiliser ce logiciel pour expérimenter et créer des formes nouvelles et atypiques.¹¹⁰

¹⁰⁸ Haddig,A,kh. *L'enveloppe architecturale élément de régulation thermique cas des bâtiments administratifs dans les zones arides le projet : la direction de la DLEP à Eloued.mémoire de master.université Med-khider Biskra.*

¹⁰⁹ FindMyHome.at. (2022, July 22). *Architecture organique*. MYHOME Blog. <https://myhome.at/fr/architecture-organique/>

¹¹⁰ Trouver Mon Photographe. (n.d.). *Blob architecture, l'architecture du futur ?* https://www.trouver-mon-photographe.fr/fr/actualites/blob-architecture-l-architecture-du-futur?_country=fr



Figure 55 : Nicholas Grimshaw- Eden Project

Source : <https://www.trouver-mon-photographe.fr/fr/actualites/blob-architecture-l-architecture-du-futur?country=fr>

II.4.5 Selon la texture :

II.4.5.1 Appareillage et crépissage :

Le crépi est un revêtement de finition pour les façades extérieures, offrant un aspect esthétique tout en protégeant les murs des agressions extérieures. Il joue également un rôle d'isolant phonique et thermique. Il existe trois types de crépi : le mortier de ciment, le mortier à la chaux, et le crépi plâtre.¹¹¹

- L'appareillage c'est une mode de disposition des pierres ou des briques assemblés entre eux dans une maçonnerie.¹¹²
- Le crépi est un revêtement de finition pour les façades extérieures, offrant un aspect esthétique tout en protégeant les murs des agressions extérieures. Il joue également un rôle d'isolant phonique et thermique. Il existe trois types de crépi : le mortier de ciment, le mortier à la chaux, et le crépi plâtre.¹¹³

¹¹¹ Mon Peintre. (n.d.). « Tout ce qu'il faut savoir sur le crépi de façade » <https://monpeintre.pro/crepi-facade-a-savoir/>

¹¹² Batiproducts. (n.d.). *Définition de appareillage*. <https://www.batiproducts.com/batiwiki/appareillage/definition/2B17EEAE-D1D8-4854-9151-FC5DF5446812/>

¹¹³ Mon Peintre. (n.d.). « Tout ce qu'il faut savoir sur le crépi de façade » <https://monpeintre.pro/crepi-facade-a-savoir/>

II.4.5.2 Autre exemples des textures de l'enveloppe architecturale :

Appareillage	 <p>Figure 56 : LES OUVERTURES DANS L'APPAREILLAGE SERVENT DE VENTILATION POUR AERER LES SYSTEMES TECHNIQUES ARRIERE</p> <p>Source : https://www.vandersanden.com/fr-fr/gevel-van-gemeenschapscentrum-showt-speelse-combinatie-van-metselverbanden</p>
L'enveloppe légère	 <p>Figure 57 : le studio basé à Seattle E. Cobb Architects et porte le nom Glass Graham House</p> <p>Source : https://deavita.fr/design-exterieur/maison-verre-design-moderne-architectes/</p>
L'enveloppe végétalisée	 <p>Figure 58 : Schüco AF UDC 80 Green Façade</p> <p>Source : https://paperjam.lu/article/facades-vegetalisees-urbaines-</p>

Tableau 3 : exemples des textures de l'enveloppe architecturale

II.4.6 Les fonctions de l'enveloppe :

Une enveloppe de bâtiment c'est tout ce qui fait le tour de l'habitable créer par l'Homme. Ceci veut dire que la dalle de plancher, les fondations, les murs extérieurs, les ouvertures, les toitures, etc. font partie de l'enveloppe de bâtiment et cette capacité d'avoir constamment une vue d'ensemble est primordiale.¹¹⁴

II.4.6.1 Revêtement intérieur :

Cette fonction est réalisée par les matériaux apparents à l'intérieur. Cette fonction sert aux différents besoins de l'environnement intérieur et les matériaux utilisés doivent remplir les exigences désirées.¹¹⁵

II.4.6.2 Structure :

Cette fonction est réalisée par les matériaux qui serviront de support aux autres matériaux des différentes fonctions. Les composantes doivent résister aux pressions des vents et des autres éléments et devra les transmettre à charpente de l'édifice.¹¹⁶

II.4.6.3 Pare-vapeur :

Cette fonction est réalisée par un matériau qui diminue (retarde) le passage de l'humidité au travers l'enveloppe par diffusion. Ce matériau doit pouvoir résister au vieillissement durant toute la vie du bâtiment.¹¹⁷

II.4.6.4 Pare-air :

Cette fonction est réalisée par un matériau ou un assemblage qui diminuera le passage de l'air au travers de l'enveloppe du bâtiment.¹¹⁸

¹¹⁴ Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*.

<https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>

¹¹⁵ Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*.

<https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>

¹¹⁶ Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*.

<https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>

¹¹⁷ Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*.

<https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>

¹¹⁸ Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*.

<https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>

II.4.6.5 Isolation thermique :

Cette fonction est réalisée avec un matériau qui diminue le passage de la chaleur vers l'intérieur.¹¹⁹

II.4.6.6 Parement extérieur :

Cette fonction est réalisée par un matériau qui protégera les autres composantes de la détérioration par les éléments de la nature (soleil, eau, neige, vent, etc.) et autres.¹²⁰

Conclusion :

En conclusion, l'enveloppe architecturale constitue un élément central dans la performance globale d'un bâtiment. Elle remplit plusieurs fonctions essentielles, notamment l'isolation thermique, la gestion de l'humidité, la protection contre les intempéries et la régulation du confort acoustique. Son rôle est d'agir comme une barrière physique entre l'intérieur et l'extérieur, tout en assurant la durabilité de la structure. La conception de l'enveloppe est influencée par des facteurs complexes comme les conditions climatiques, les exigences en matière de performance énergétique, la disponibilité et la durabilité des matériaux, ainsi que les contraintes esthétiques et économiques. En tenant compte de ces multiples aspects, une enveloppe bien conçue améliore non seulement l'efficacité énergétique et le confort des occupants, mais contribue également à la réduction de l'empreinte environnementale du bâtiment.

¹¹⁹ Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*.

<https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>

¹²⁰ Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*.

<https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>

III Le bâtiment durable / les concepts :

Définition : Le bâtiment durable, également appelé bâtiment vert ou écologique, intègre les dimensions sociale, environnementale et économique.¹²¹

- **Dimension sociale :** Il assure la sécurité, le confort et l'adaptabilité pour répondre aux besoins actuels et futurs des occupants. Il renforce l'identité culturelle et respecte l'accès universel dans une optique d'équité.
- **Dimension environnementale :** Il minimise la consommation d'énergie, les émissions de GES, les déplacements, et les déchets. Il utilise des matériaux locaux à faible impact et contribue positivement au paysage, réduisant ainsi l'empreinte écologique.
- **Dimension économique :** Il est construit et exploité à des coûts raisonnables, conserve sa valeur à long terme, optimise les coûts d'exploitation sur son cycle de vie, et soutient l'économie locale.

En résumé, le bâtiment durable répond aux besoins des occupants tout en ayant un impact environnemental limité et des coûts optimisés.

III.1 La conception intégrée :

La **conception intégrée** est une approche globale et multidisciplinaire visant à inclure tous les acteurs d'un projet de construction (architectes, entrepreneurs, usagers, fournisseurs, etc.) dès le début du processus. Cela favorise une collaboration étroite et permet d'anticiper et résoudre les problèmes à la phase de planification.¹²²

Cette méthode facilite :

- Le choix de solutions efficaces et durables sans coûts supplémentaires, comme :
 - ✓ Une localisation limitant les émissions de GES dues aux déplacements.
 - ✓ Une orientation optimisant l'énergie solaire passive.
 - ✓ Une forme adaptée pour réduire les besoins en chauffage.

¹²¹ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹²² Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

En combinant les expertises, la conception intégrée améliore la performance énergétique et économique des bâtiments grâce à la synergie entre leurs composantes.

III.2 L’empreinte écologique :

Un **bâtiment durable** consomme moins de matériaux et d’énergie, ce qui réduit son empreinte écologique par rapport à un bâtiment conventionnel de même usage.¹²³

L’empreinte écologique mesure la consommation humaine de ressources naturelles en hectares, indiquant la pression exercée sur la planète par rapport à sa capacité de régénération. Pour un bâtiment, elle est définie par la formule : $E = A / B$, où :

- **A** = énergie et ressources nécessaires à la construction, l’entretien et l’utilisation.
- **B** = nombre d’usagers.

Pour minimiser l’empreinte écologique (**E**), il est essentiel de réduire **A** et d’augmenter **B**. Par exemple, un bâtiment bien localisé et fréquenté (comme un bâtiment institutionnel au centre-ville) réduit **E** grâce à l’utilisation accrue et aux déplacements optimisés. À l’inverse, un bâtiment peu utilisé conserve une empreinte élevée, même s’il consomme peu d’énergie.¹²⁴

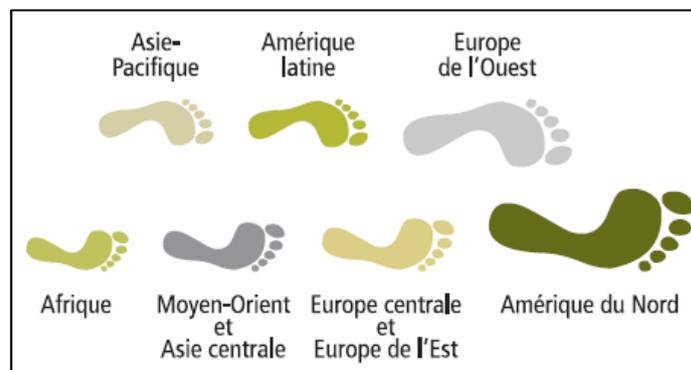


Figure 59 : Empreinte écologique.

Source : https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹²³ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹²⁴ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

$$\text{Empreinte } E = \frac{A \text{ (quantité d'énergie et de ressources)}}{B \text{ (nombre d'usagers)}}$$

Figure 60 : Calcul de l'empreinte.

Source : https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

III.3 Le cycle de vie d'un bâtiment :

Les bâtiments consomment 85 % de leur énergie pour le chauffage, l'éclairage et la climatisation, ce qui constitue la majeure partie de leur impact environnemental sur leur cycle de vie. Cet impact inclut les effets de la production d'énergie.¹²⁵

L'évaluation du cycle de vie (ECV) mesure la performance environnementale d'un produit, matériau ou bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie, de l'extraction des ressources jusqu'à sa fin de vie. Elle évalue plusieurs impacts environnementaux, notamment :

- L'épuisement des combustibles fossiles et des ressources non renouvelables.
- Le réchauffement climatique.
- L'appauvrissement de la couche d'ozone.
- La formation de smog.
- La nutrification des plans d'eau.
- L'acidification et les dépôts acides.
- La contamination toxique de l'air, de l'eau et des sols.

Bien que ces indicateurs ne mesurent pas directement les effets sur la santé humaine ou les écosystèmes, ils offrent une vue d'ensemble de la pression environnementale exercée par la fabrication, l'utilisation et l'élimination des produits.¹²⁶

¹²⁵ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹²⁶ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

III.4 L'écoefficacité :

« L'écoefficacité est réalisée par la production à des prix compétitifs de biens et services qui répondent aux besoins des gens et améliorent leur qualité de vie. Ceci se fait en réduisant progressivement les impacts environnementaux et le degré d'exploitation des ressources tout au long du cycle de vie de ces produits et services jusqu'à un niveau qui respecte la capacité porteuse de la terre. » (DeSimone et Popoff, 1997)¹²⁷

Le World Business Council for Sustainable Development définit des critères pour introduire les coûts des impacts environnementaux dans notre économie (Kibert, 2008). Selon eux, les processus doivent contribuer à réduire la quantité de matériel utilisé dans la production des biens et services, augmenter la durabilité des biens produits, produire des biens qui sont recyclables et maximiser l'utilisation des ressources renouvelables dans la production de biens.¹²⁸

III.5 La conception d'un bâtiment durable :

La conception d'un bâtiment durable vise à intégrer des principes environnementaux, sociaux et économiques pour créer des structures performantes et respectueuses de l'environnement. Elle repose sur les éléments suivants :¹²⁹

1. Approche intégrée :

- Collaboration entre architectes, ingénieurs, entrepreneurs, usagers et autres acteurs dès le début du projet.
- Anticipation des problèmes et synergie entre les composantes du bâtiment.

2. Optimisation énergétique :

- Réduction de la consommation d'énergie pour le chauffage, l'éclairage et la climatisation.

¹²⁷ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹²⁸ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹²⁹ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

- Utilisation d'énergies renouvelables et minimisation des énergies fossiles pour réduire les émissions de CO₂.

3. Gestion des matériaux et des ressources :

- Utilisation de matériaux locaux, recyclables ou à faible impact environnemental.
- Conception visant à limiter les déchets pendant la construction et l'exploitation.¹³⁰

4. Localisation et mobilité :

- Emplacement stratégique pour minimiser les déplacements et favoriser les transports actifs ou en commun.

5. Bien-être des usagers :

- Confort, sécurité, accessibilité universelle et adaptabilité du bâtiment pour répondre aux besoins présents et futurs.

6. Cycle de vie durable :

- Intégration de l'évaluation du cycle de vie (ECV) pour mesurer les impacts environnementaux de la conception à la fin de vie.

III.5.1 L'impact d'un bâtiment durable sur l'environnement :

Un **bâtiment durable** a pour objectif de réduire son impact environnemental tout au long de son cycle de vie. Ses contributions positives incluent :

1. Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)

- Diminution de la consommation d'énergie fossile grâce à des systèmes énergétiques efficaces (isolation, énergies renouvelables).
- Réduction des déplacements liés à son emplacement stratégique (proximité des transports en commun et services).¹³¹

¹³⁰ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹³¹ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

2. Gestion efficace des ressources

- Utilisation de matériaux locaux, recyclables ou issus de sources renouvelables pour limiter l'épuisement des ressources naturelles.
- Réduction des déchets générés pendant la construction, l'exploitation et la démolition.¹³²

3. Amélioration de la qualité de l'air et de l'eau

- Choix de matériaux non toxiques réduisant la pollution intérieure et extérieure.
- Gestion des eaux pluviales et limitation des rejets polluants dans les cours d'eau.

4. Préservation des écosystèmes

- Réduction de l'emprise foncière et meilleure intégration au paysage naturel.
- Conception favorisant la biodiversité (toits verts, espaces verts).¹³³

5. Réduction de l'empreinte écologique

- Optimisation énergétique et conception passive réduisant les besoins en chauffage, éclairage et climatisation.
- Évaluation du cycle de vie permettant de limiter les impacts environnementaux globaux.¹³⁴

En somme, un bâtiment durable vise à minimiser ses effets néfastes sur l'environnement tout en améliorant l'efficacité des ressources et en favorisant des pratiques respectueuses de la planète.

¹³² Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹³³ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

¹³⁴ Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation. (n.d.). *Guide pour un bâtiment durable*. Gouvernement du Québec. https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/affaires-municipales/publications/amenagement_territoire/urbanisme/guide_batiment_durable.pdf

IV La conception bioclimatique :

Introduction :

On parle de conception bioclimatique lorsque l'architecture du projet est adaptée en fonction des caractéristiques et particularités du lieu d'implantation, afin d'en tirer le bénéfice des avantages et de se prémunir des désavantages et contraintes. L'objectif principal est d'**obtenir le confort d'ambiance recherché de manière la plus naturelle possible** en utilisant les moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site. Ces stratégies et techniques architecturales cherchent à profiter au maximum du soleil en hiver et de s'en protéger durant l'été. C'est pour cela que l'on parle également d'architecture «solaire» ou «passive».

Le choix d'une démarche de conception bioclimatique favorise les économies d'énergies et permet de réduire les dépenses de chauffage et de climatisation, tout en bénéficiant d'un cadre de vie très agréable.

Afin d'optimiser le confort des occupants tout en préservant le cadre naturel de la construction, de nombreux paramètres sont à prendre en compte. Une attention tout particulière sera portée à l'**orientation du bâtiment** (afin d'exploiter l'énergie et la lumière du soleil), au choix du **terrain** (climat, topographie, zones de bruit, ressources naturelles, ...) et à la **construction** (surfaces vitrées, protections solaires, compacité, matériaux, ...).¹³⁵

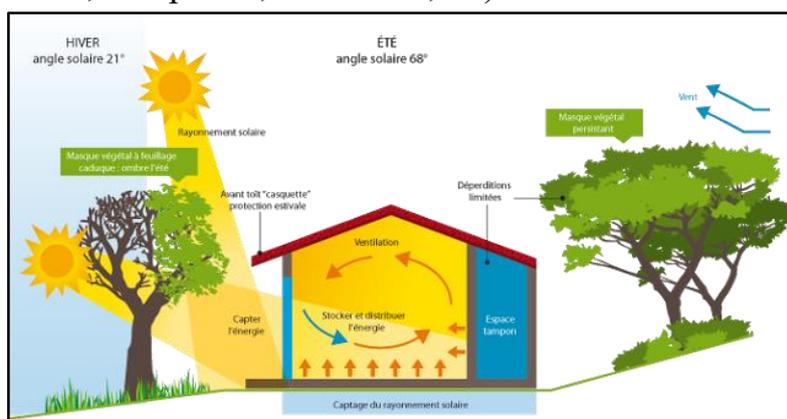


Figure 61 : Principes de base d'une conception bioclimatique.

Source : <https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>

¹³⁵ eRT2012. (n.d.). *Explication de l'architecture bioclimatique*. <https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>

IV.1 Les bases de la conception bioclimatique :

IV.1.1 L'implantation et l'orientation :

IV.1.1.1 L'implantation

L'implantation d'un bâtiment est l'une des missions les plus cruciales de l'architecte. Pour réussir cette étape, il est essentiel de bien connaître le site. Comprendre l'énergie solaire reçue par l'enveloppe du bâtiment permet de concevoir celle-ci de manière appropriée, en anticipant l'orientation optimale et les protections solaires nécessaires. Il faut prendre en compte le relief environnant, la course annuelle du soleil, ainsi que l'orientation et les vents dominants. L'implantation influence également l'éclairage naturel, les apports solaires en hiver et les mouvements d'air.

De plus, pour minimiser les risques de turbulences et maximiser l'exploitation de l'énergie éolienne, il est important de réaliser une étude préalable visant à optimiser l'implantation du bâtiment. Les aspects d'urbanisme, de topographie et de végétation sont des facteurs clés à considérer dans ce processus.¹³⁶

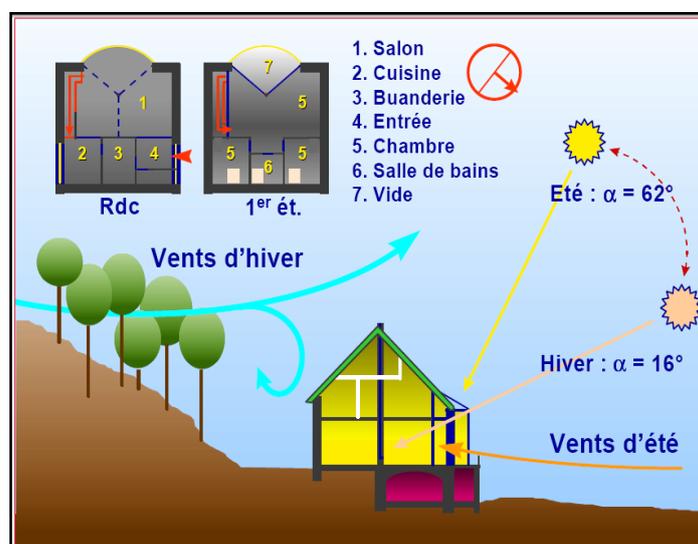


Figure 62 : L'implantation tient compte du relief, des vents locaux, de l'ensoleillement.

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme Bioclimatique : concevoir, édifier et aménager.

¹³⁶ Gerram,I. Louafi ,I.(2018) L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DU BATIMENT TERTIAIRE SUR LE CONFORT THERMIQUE, université larbi ben mhidi.mémoire de master.

Chapitre théorique

IV.1.1.2 L'orientation :

L'orientation d'un édifice répond à sa destination les besoins en lumière naturelle, l'intérêt d'utiliser le rayonnement solaire pour chauffer le bâtiment ou, au contraire, la nécessité de s'en protéger pour éviter la surchauffe, l'existence de vents pouvant refroidir le bâtiment en hiver ou le rafraîchir en été, sont autant de paramètres importants dans le choix de l'orientation.

Parfois agréable l'été, le vent est toujours source d'inconfort l'hiver. Par conséquent, protéger les façades des vents froids est toujours souhaitable, voire prioritaire, pour minimiser la consommation de chauffage.

Le soleil intervient pour dispenser lumière et chaleur. Une orientation adaptée aux contraintes du bâtiment permet ainsi de réduire les consommations de chauffage et d'éclairage.¹³⁷

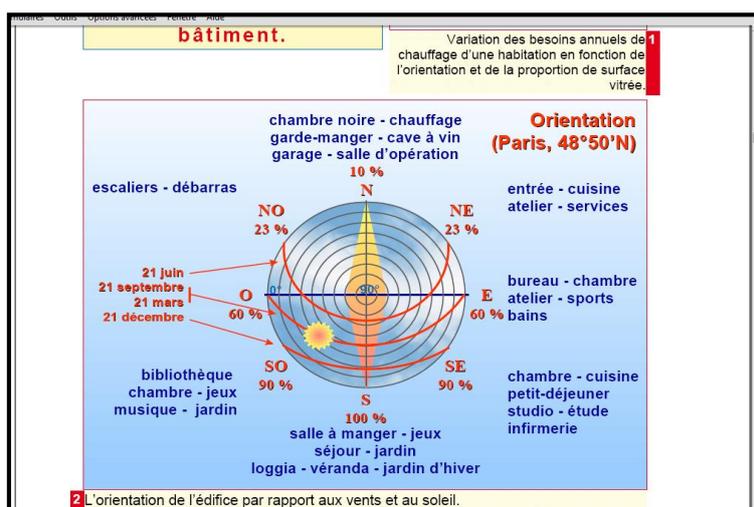


Figure 63 : L'orientation de l'édifice par rapport aux vents et au soleil.

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme Bioclimatique : concevoir, édifier et aménager.

IV.1.2 Le coefficient de forme :

Le coefficient de forme d'un bâtiment, aussi appelé facteur de forme, est un indicateur qui exprime le rapport entre la surface de l'enveloppe extérieure d'un bâtiment (c'est-à-dire les murs, le toit, et parfois le plancher) et son volume

¹³⁷ Gerram, I. Louafi, I. (2018) L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DU BATIMENT TERTIAIRE SUR LE CONFORT THERMIQUE, université larbi ben mhidi. mémoire de master.

habitable. Il est souvent utilisé dans le cadre de la performance énergétique des bâtiments, notamment pour l'évaluation des pertes thermiques.¹³⁸

Il se calcule selon la formule suivante :

Coefficient de forme = Surface extérieure de l'enveloppe/ Volume habitable.

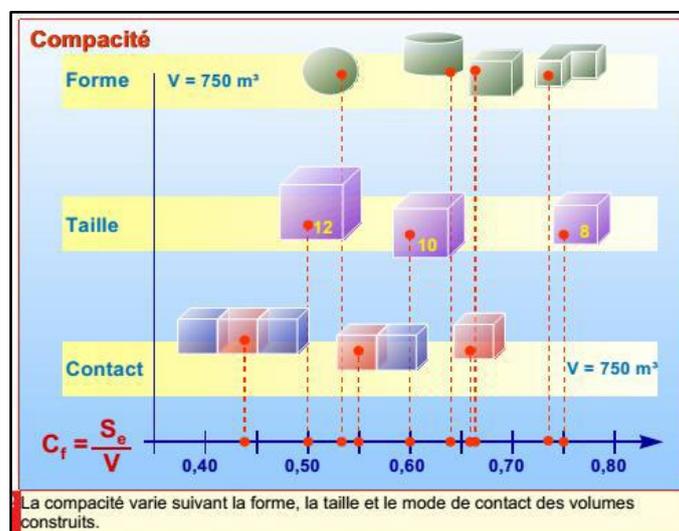


Figure 64 : La compacité varie suivant la forme, la taille et le mode de contact des volumes construits.

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme Bioclimatique : concevoir, édifier et aménager.

IV.1.2.1 Variation selon la forme du bâtiment :

- **Bâtiment compact** (forme régulière, compacte) : Le coefficient de forme sera faible, indiquant une meilleure performance énergétique, avec moins de surfaces exposées.
- **Bâtiment allongé ou irrégulier** : Le coefficient de forme sera plus élevé, car la surface exposée au climat (et donc les déperditions énergétiques) sera plus grande.

IV.1.3 Les déperditions thermiques et l'isolation :

IV.1.3.1 Déperditions Thermiques :

Les déperditions thermiques désignent la quantité de chaleur perdue par un bâtiment vers l'extérieur. Cette perte de chaleur se produit lorsque l'air intérieur,

¹³⁸ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.

chauffé en hiver ou refroidi en été, s'échappe à travers l'enveloppe du bâtiment, c'est-à-dire les murs, les fenêtres, le toit, les portes et le sol.¹³⁹

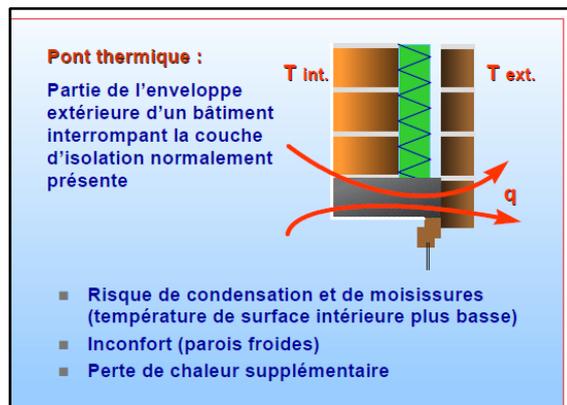


Figure 65 : Description et conséquences des ponts thermiques.

Source : *Traité d'architecture et d'urbanisme Bioclimatique : concevoir, édifier et aménager.*

Types de déperditions thermiques :

- Déperditions par les parois opaques (murs, toits, planchers) : Ces surfaces peuvent laisser échapper la chaleur si elles ne sont pas correctement isolées.
- Déperditions par les vitrages (fenêtres et porte-fenêtre) : Les fenêtres non isolées ou mal installées peuvent être des ponts thermiques majeurs.
- Déperditions par infiltration d'air : Les fuites d'air à travers les fissures, les joints, les portes mal ajustées ou les fenêtres mal isolées augmentent les pertes de chaleur.
- Déperditions par les ponts thermiques : Ce sont des zones où l'isolation est moins performante, souvent au niveau des jonctions (entre les murs et le toit, par exemple), favorisant ainsi les pertes de chaleur.¹⁴⁰

¹³⁹ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*

¹⁴⁰ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*

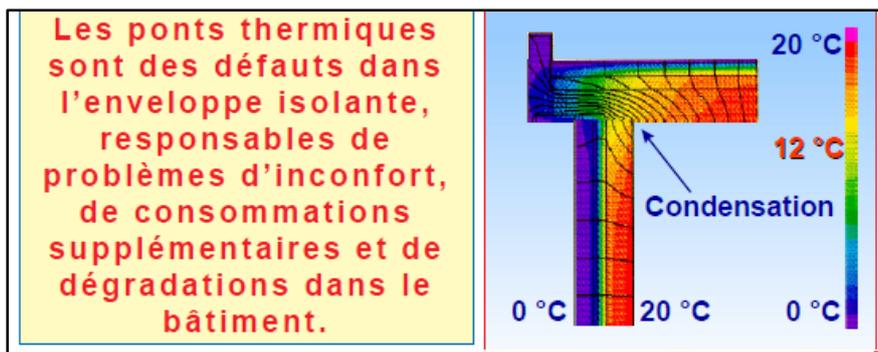


Figure 66 : Analyse du risque de condensation dans un détail de raccord de toiture.

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme Bioclimatique : concevoir, édifier et aménager

IV.1.3.2 Isolation :

L'isolation thermique vise à réduire les déperditions thermiques en empêchant la chaleur de sortir ou d'entrer dans le bâtiment. Une bonne isolation permet de maintenir une température intérieure stable, quelle que soit la saison, tout en réduisant la consommation d'énergie.¹⁴¹

Types d'isolation :

IV.1.3.2.1 Isolation des murs :

- Isolation intérieure : Les panneaux isolants sont installés à l'intérieur des murs. C'est une solution simple mais qui peut réduire l'espace habitable.

- Isolation extérieure : On applique des matériaux isolants sur les façades extérieures. Cela améliore la performance énergétique sans impacter l'espace intérieur.¹⁴²

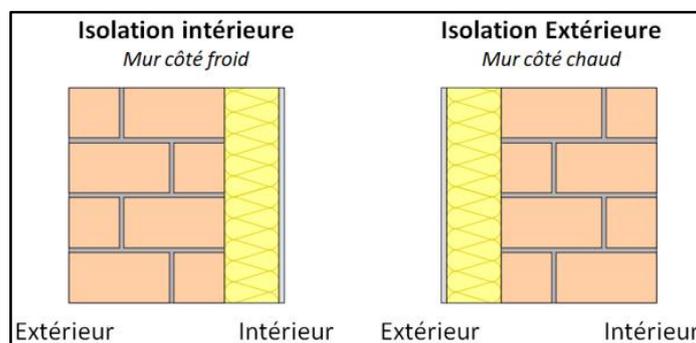


Figure 67 : types d'isolation des murs

¹⁴¹ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.

¹⁴² Conseils Thermiques. (n.d.). *Isolation intérieure ou extérieure : que choisir ?* Conseils Thermiques. <https://conseils-thermiques.org/contenu/isolation-interieure-ou-exterieure.php>

Source : <https://conseils-thermiques.org/contenu/isolation-interieure-ou-exterieure.php>

IV.1.3.2.2 Isolation du toit :

Le toit est l'une des principales sources de déperditions thermiques, car la chaleur monte naturellement. L'isolation des combles ou du toit est donc cruciale.¹⁴³

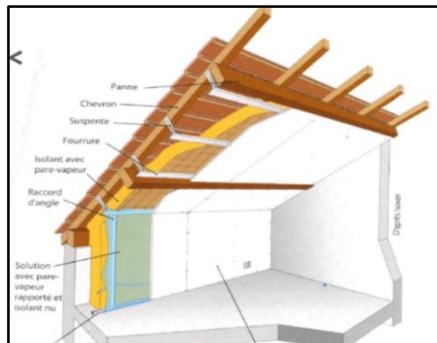


Figure 68 : Isolation du toiture.

Source : <https://conseils-thermiques.org/contenu/isolation-interieure-ou-exterieure.php>

IV.1.3.2.3 Isolation des sols :

Réduire les pertes de chaleur par le plancher, surtout si le bâtiment repose sur une dalle de béton ou des zones non chauffées (caves, garages).¹⁴⁴ on distingue deux types :

- L'isolation par le dessous :

Cette technique peut s'avérer être pratique dans le cas d'une réhabilitation car elle ne nécessite pas de casser le sol en place. Si votre maison possède un sous-sol ou un vide-sanitaire, on vient placer l'isolant sur la partie inférieure du plancher bas.

- L'isolation par le dessus :

L'isolation au-dessus du plancher s'envisage dans la majorité des cas lors de la construction de la maison. En effet, si on souhaite ce type d'isolation en rénovation, il faudra casser le sol en place.¹⁴⁵

¹⁴³ Conseils Thermiques. (n.d.). *Isolation intérieure ou extérieure : que choisir ?* Conseils Thermiques. <https://conseils-thermiques.org/contenu/isolation-interieure-ou-exterieure.php>

¹⁴⁴ Conseils Thermiques. (n.d.). *Isolation intérieure ou extérieure : que choisir ?* Conseils Thermiques. <https://conseils-thermiques.org/contenu/isolation-interieure-ou-exterieure.php>

¹⁴⁵ Conseils Thermiques. (n.d.). *Isolation intérieure ou extérieure : que choisir ?* Conseils Thermiques. <https://conseils-thermiques.org/contenu/isolation-interieure-ou-exterieure.php>

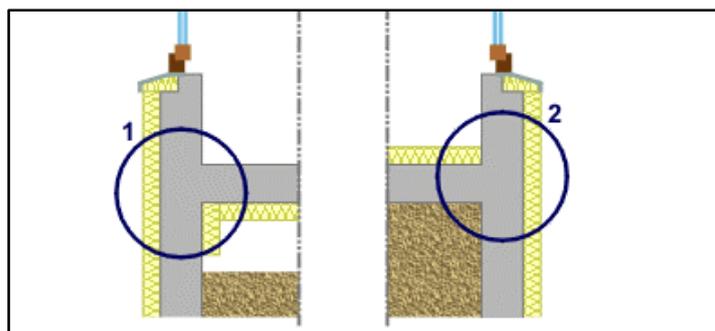


Figure 69 : types d'isolation du sols 1 isol par-dessous et 2 isol par le dessus

Source : <https://energieplus-lesite.be/ameliorer/isolation/ameliorer-noeuds-constructifs/resoudre-les-noeuds-constructifs-dans-le-cas-d-une-isolation-par-l-exterieur/>

IV.1.4 La climatisation :

La climatisation régule la température, l'humidité et la pureté de l'air, indépendamment des conditions extérieures. Elle peut produire du froid ou de la chaleur, mais est énergivore, particulièrement dans certaines régions comme le sud de l'Europe. Contrairement à l'architecture bioclimatique, qui privilégie des solutions naturelles pour éviter l'inconfort, la climatisation est souvent indispensable dans les climats chauds et humides. Elle fonctionne en remplaçant l'air chaud par de l'air frais, mais nécessite une parfaite étanchéité pour éviter tout déséquilibre dans le système.¹⁴⁶



Figure 70 : principe du double flux.

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme Bioclimatique : concevoir, édifier et aménager.

¹⁴⁶ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.

IV.1.5 Connaitre le climat, composer avec les données climatiques :

L'architecture bioclimatique utilise le potentiel local (climats, matériaux, main-d'œuvre...) pour recréer le confort de chacun en s'adaptant aux variations climatologiques du lieu. Elle rétablit l'architecture dans son rapport à l'homme et au climat. C'est pourquoi on ne peut définir une unique typologie de l'architecture bioclimatique : il y en a autant que de climats. Ceci est d'autant plus vrai que le confort de chacun se déplace avec les conditions climatologiques.¹⁴⁷

Conclusion :

En conclusion, l'architecture bioclimatique vise bien plus que la simple réduction de la consommation d'énergie. Elle s'inscrit dans une démarche globale de durabilité, où la conception des bâtiments est harmonisée avec l'environnement naturel et le climat local. En utilisant intelligemment les ressources renouvelables et en intégrant des solutions passives, l'architecture bioclimatique permet de minimiser l'impact écologique tout en maximisant le bien-être des occupants. Cette approche contribue non seulement à préserver l'environnement, mais aussi à anticiper les enjeux énergétiques futurs, rendant les bâtiments plus résilients face aux changements climatiques. Elle encourage une nouvelle façon de penser l'habitat, où performance énergétique, confort, et respect de la nature sont indissociables, ouvrant ainsi la voie à une architecture plus humaine et plus responsable.

¹⁴⁷ Dr.Sriti,L.(n.d). RESPECTER LE SITE ; S'INTÉGRER À L'ENVIRONNEMENT1 ÈRE ÉTAPE POUR UNE ARCHITECTURE ENVIRONNEMENTALE. Cours de master 2

V Les régions à climat chaud et sec :

V.1 Définition du «climat » :

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, humidité, ensoleillement, pression, vent, précipitations) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné.(LAROUSSE)¹⁴⁸

V.2 Classification des climats :

Les principaux climats sont définis en fonction de **la température et de l'humidité**.

On distingue ainsi 4 catégories de climats en fonction de la température :

- Froid, pour des températures moyennes annuelles de moins de 10° ;
- Tempéré, pour des températures moyennes annuelles comprises entre 10° et 20°.
- Chaud, pour des températures moyennes annuelles comprises entre 20 et 30°.
- Très chaud, pour des températures moyennes annuelles supérieures à 30°.

Ainsi que 2 catégories en fonction de l'humidité :

- Sec, pour une humidité relative inférieure à 55% ;
- Humide, pour une humidité relative supérieure à 55%.¹⁴⁹

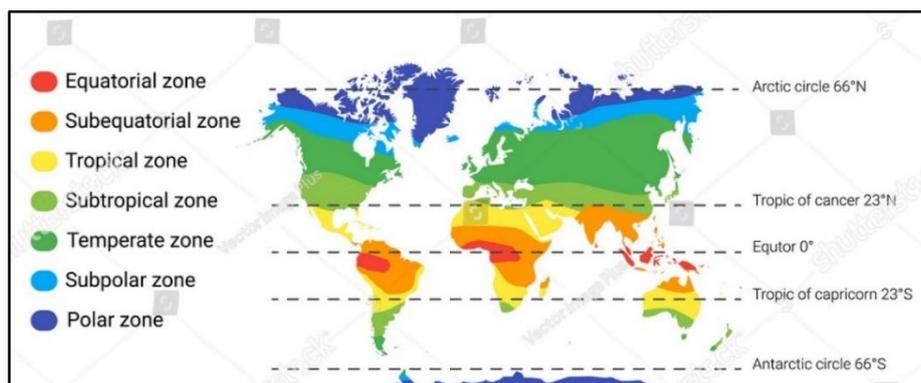


Figure 71 : Les zones climatiques dans le monde.

Source : <https://www.shutterstock.com/fr/image-vector/climate-zones-map-scheme-vector-illustration-1832213731>

¹⁴⁸ Larousse. (n.d.). *Climat : les climats du monde*. Larousse.

https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/climat_les_climats_du_monde/185927

¹⁴⁹ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*.

V.3 Les climats chauds et leurs contextes :

Les climats chauds se subdivisent en plusieurs zones climatiques :

- **climat équatorial**, qui se caractérise par une très forte humidité, des précipitations élevées, des températures chaudes et une faible amplitude thermique ;
- **climat tropical humide**, qui se caractérise par une saison de fortes pluies chaudes et une saison sèche plus froide ;
- **climat tropical sec**, qui se caractérise par trois saisons : une saison chaude et sèche, une saison très chaude et une saison chaude de pluies. L'amplitude thermique entre le jour et la nuit est supérieure à 5 °C ;
- **climat désertique**, qui se caractérise par une période chaude à très chaude et une période froide. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants, les précipitations rares.¹⁵⁰

Les limites entre les différentes zones ne sont pas précises. Il existe, entre deux zones climatiques principales une zone dite de transition. Ainsi, chaque zone climatique est subdivisée en sous-zones en fonction de certains critères, comme la durée de la saison sèche. Il est important pour l'architecte de se familiariser avec les caractéristiques climatiques d'un environnement afin de les intégrer à sa démarche.¹⁵¹

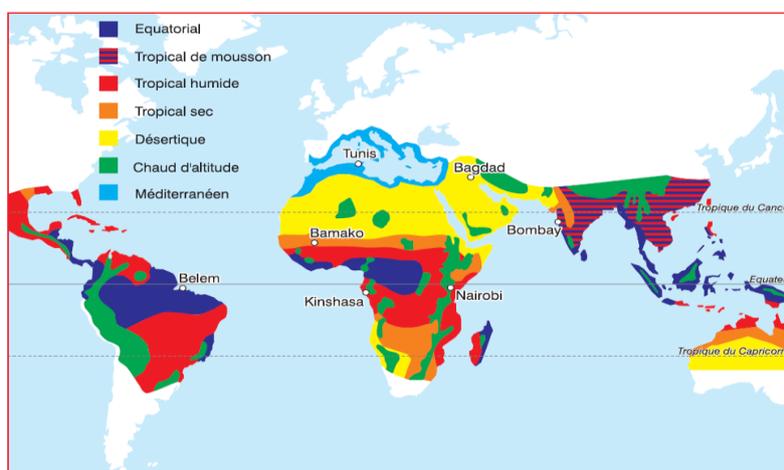


Figure 72 : Carte du monde avec les différentes zones climatiques chaudes

Source : Traité d'architecture et d'urbanisme Bioclimatique : concevoir, édifier et aménager.

¹⁵⁰ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.

¹⁵¹ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.

V.4 Le climat désertique (chaud et sec) :

Le climat désertique s'étend entre les latitudes 15 et 30 ° principalement au nord de l'équateur. Il englobe les villes de Tamanarasset en Algérie, Assuan en Egypte, Phoenix aux USA, Windhoek en Namibie, Alice Spring au centre de l'Australie, Bagdad en Irak. Ce climat se caractérise par deux saisons plus ou moins marquées, à savoir une saison chaude et une saison froide. ¹⁵²

Durant la période chaude, les températures atteignent rapidement après le lever du soleil 43 à 49 °C pour redescendre à 30 °C, voire jusqu'à 24 °C la nuit. En période froide, les températures oscillent entre 27 et 32 °C le jour et de 10 à 18 °C la nuit. Les écarts de températures entre le jour et la nuit sont très importants. L'amplitude annuelle est de l'ordre de 11 à 17 °C.

Les précipitations sont irrégulières et réparties sur quelques semaines, elles varient de 50 à 250 mm. Certaines années, il ne pleut pas dans le désert ; d'autres années, des pluies intensives causent des dégâts importants. L'humidité relative évolue de 10 à 45 %. Les variations journalières de l'humidité peuvent atteindre 15 %. ¹⁵³

Les vents sont chauds et violents. Ils soufflent à dominante ouest, plus forts pendant le jour que la nuit, ils peuvent dégénérer en tempête de sable. Ces vents sont à l'origine de l'érosion et de la formation des dunes. ¹⁵⁴

Le ciel est généralement clair avec une forte intensité lumineuse. Les températures du sol sont supérieures à celles de l'air. La réverbération sur le sable clair est très importante et peut provoquer des éblouissements gênants.

Les pluies étant rares, le sol est aride et sec. Les températures élevées favorisent l'évaporation quasi instantanée de l'eau. La végétation se compose d'herbes et d'arbustes à enracinement superficiel. La courte période de croissance des végétaux ne permet pas d'éviter l'évaporation. ¹⁵⁵

¹⁵² De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*(p.119)

¹⁵³ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*(p.119)

¹⁵⁴ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*(p.119)

¹⁵⁵ De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*(p.119)

Conclusion :

Le climat est un élément essentiel de la vie sur Terre, influençant non seulement les conditions météorologiques, mais aussi les modes de vie, les économies et la santé des écosystèmes. Un climat stable est crucial pour l'agriculture, la biodiversité et la gestion des ressources en eau. Les changements climatiques peuvent entraîner des pénuries alimentaires, des migrations humaines et des perturbations écologiques.

Il est donc vital de comprendre et de surveiller ces changements pour protéger notre planète et ses habitants. Cela nécessite des efforts globaux pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et promouvoir des pratiques durables. En agissant maintenant, nous pouvons assurer un avenir plus sûr et plus durable pour les générations futures.

VI La bibliothèque :

VI.1 Définition :

Selon LAROUSSE la bibliothèque c'est un nom féminin, (latin bibliotheca, du grec bibliothêkê) que signifie : ¹⁵⁶

- 1. Collection de livres, de périodiques et de tous autres documents graphiques et audiovisuels classés dans un certain ordre.
- 2. Local ou édifice destiné à recevoir une collection de livres ou documents qui peuvent être empruntés ou consultés sur place.
- 3. Collection de livres publiés par un éditeur et relatifs à un même domaine ou destinés à un public déterminé : **Bibliothèque verte**.
- 4. Meuble à rayonnages dans lequel sont rangés les livres.

VI.2 Définitions des types de bibliothèques :

Types de bibliothèques	Définitions (adaptées d'ISO 2789)
Bibliothèques nationales	La bibliothèque nationale est une bibliothèque chargée d'acquérir et de conserver des copies de tous les documents pertinents publiés dans le pays où se trouve la bibliothèque. La définition de « bibliothèque nationale » autorise plus d'une bibliothèque nationale dans un pays.
Bibliothèques universitaires	La bibliothèque universitaire est une bibliothèque dont la fonction première est de couvrir les besoins en information de l'apprentissage et de la recherche. Cela comprend les bibliothèques d'établissements d'enseignement supérieur et les bibliothèques de recherche générale.
Bibliothèques publiques	La bibliothèque publique est une bibliothèque générale ouverte au public (même si ses services sont principalement destinés à une partie de la population desservie, comme les enfants, les malvoyantes ou les patientes hospitalisées) et qui dessert toute la population d'une communauté locale ou régionale et est généralement financée, en tout ou en partie, par des fonds publics. Ses services de base sont gratuits ou disponibles moyennant des frais subventionnés.
Bibliothèques communautaires	La bibliothèque communautaire est une bibliothèque qui ne fait pas partie d'une zone statutaire d'une région et qui n'est pas gérée ou entièrement financée par une autorité gouvernementale locale ou nationale. Une bibliothèque communautaire offre des services de bibliothèque à la population d'une communauté locale ou régionale et peut être gérée et financée par des groupes communautaires, des organismes de bienfaisance, des ONG et d'autres organismes. Cependant, ils peuvent encore recevoir un financement public de la part des autorités locales pour fournir des services de bibliothèque basés sur différents modèles de financement.
Bibliothèques scolaires	La bibliothèque scolaire est une bibliothèque rattachée à tous les types d'écoles en dessous du troisième niveau d'enseignement (tertiaire) dont la

¹⁵⁶ Larousse. (n.d.). *Bibliothèque*. Dans *Dictionnaire Larousse*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/biblioth%C3%A8que/9064>

Chapitre théorique

	fonction première est de servir les élèves et les enseignantes d'une telle école, mais elle peut également servir le grand public.
Autres bibliothèques	Les autres bibliothèques sont toutes celles qui ne figurent pas dans les catégories citées (bibliothèques nationales, universitaires, publiques, communautaires et scolaires) et ne sont pas incluses ailleurs dans cette enquête. Les autres bibliothèques peuvent inclure, par exemple, les bibliothèques spécialisées, les bibliothèques gouvernementales, les bibliothèques médicales, les bibliothèques industrielles et commerciales et d'autres bibliothèques qui ne sont pas incluses ailleurs.

Tableau 4 :

Source : Fédération internationale des associations et institutions de bibliothèques (IFLA). (n.d.).

Types de bibliothèques : définitions.

https://librarymap.ifla.org/files/lmw_library_types_definitions_fr.pdf

VI.2.1 Selon Neufert 10^e édition :

Types de bibliothèques :

- Bibliothèques publiques : large choix de littérature et d'autres supports médiatiques, si possible en grande partie en libre accès, ouvrages couvrant les besoins de toutes les couches de la population et de tous les âges, mélange parfois dans les grandes villes des fonctions de bibliothèque scientifique et publique.
- Bibliothèques scientifiques : collection, mise en accès et offre d'ouvrages dans certains domaines spécialisés pour l'enseignement et la recherche, accès souvent public et sans restriction.
- Bibliothèque nationale : elle abrite l'ensemble des imprimés depuis le début de l'édition (exemplaires de dépôt légal); accès public.
- Bibliothèques spéciales : bibliothèques scientifiques avec collection d'ouvrages et de supports médiatiques spécifiques dans des domaines spécialisés, souvent à accès limité.¹⁵⁷

VI.3 Services :

Toute bibliothèque se compose des services suivants : consultation et lecture, conservation et administration. Les surfaces de ces différents.¹⁵⁸

¹⁵⁷ Neufert, E. *Les éléments des projets de construction* (2009) 10^e édition.

¹⁵⁸ Neufert, E. *Les éléments des projets de construction* (2009) 10^e édition.

VI.4 Les différents espaces à prévoir pour l'aménagement d'une bibliothèque publique :

<u>intitulé</u>	<u>Définition</u>	<u>Exemple</u>
<u>Espace d'accueil</u>	L'espace d'accueil d'une bibliothèque publique doit être accueillant et fonctionnel. Il comprend généralement un comptoir d'information, un espace pour l'inscription des usagers, et des panneaux de signalisation clairs pour orienter vers les différentes sections. Cet espace peut aussi inclure des zones de détente, un coin lecture rapide, et un accès à des ressources numériques pour faciliter l'auto-consultation ou la recherche en ligne.	
<u>Espace de libre accès aux collections</u>	L'espace de libre accès aux collections dans une bibliothèque est une zone où les usagers peuvent explorer les ouvrages directement sur les rayonnages sans avoir à les demander au personnel. Cet espace est organisé par catégories (thèmes, genres, etc.), avec une signalétique claire pour orienter les utilisateurs. Les rayonnages sont à une hauteur accessible pour tous, et l'aménagement doit offrir des espaces de lecture confortables et des zones de consultation rapide. Un espace bien éclairé et ergonomique encourage la découverte et l'exploration des collections.	
<u>Espace pour la consultation des périodiques</u>	L'espace de consultation des périodiques est dédié à la lecture de magazines, journaux et revues. Il est généralement aménagé avec des présentoirs pour un accès facile aux publications récentes, et des tables ou fauteuils confortables pour la lecture sur place. L'éclairage doit être adapté pour la lecture, et l'espace bien organisé pour permettre une navigation fluide entre les différentes publications.	

Chapitre théorique

<u>intitulé</u>	<u>Définition</u>	<u>Exemple</u>
<u>Espace petite enfance</u>	L'espace petite enfance dans une bibliothèque est conçu pour les enfants de 0 à 6 ans. Il propose des livres adaptés (albums, contes, livres d'éveil) dans des rayonnages à hauteur des enfants, avec des coins de lecture confortables. L'aménagement inclut souvent des tapis, coussins, et petits meubles adaptés, ainsi que des espaces de jeux éducatifs pour encourager l'éveil et l'interaction. Cet espace doit être sécurisé, coloré et accueillant, favorisant le plaisir de la lecture dès le plus jeune âge.	
<u>Espace heure du conte</u>	L'espace "heure du conte" est un lieu chaleureux et convivial, avec des coussins et sièges pour les enfants, dédié à la lecture d'histoires. Il est conçu pour favoriser une ambiance immersive et calme autour du narrateur.	
<u>Espace de travail</u>	L'espace de travail en bibliothèque est calme et fonctionnel, avec des tables, bureaux, prises électriques et Wi-Fi. Il comprend des zones pour le travail individuel et en groupe, offrant confort et productivité.	
<u>Espace de rayonnage</u>	L'espace de rayonnage en bibliothèque est dédié au stockage et à l'organisation des collections de livres. Les étagères sont disposées de manière accessible et bien étiquetées pour faciliter la recherche. L'espace est souvent conçu pour une circulation fluide, avec des allées suffisamment larges pour permettre aux usagers de se déplacer facilement. Des zones de consultation rapide peuvent être intégrées à proximité pour feuilleter les ouvrages avant de les emprunter.	

Chapitre théorique

<p><u>Espace de recherche</u></p>	<p>L'espace de recherche en bibliothèque est dédié à l'accompagnement des usagers dans leurs travaux académiques. Il comprend des postes informatiques, des tables de travail, des ressources imprimées, et un accès à des bases de données en ligne, avec un personnel disponible pour offrir assistance et conseils.</p>	
<p><u>Espace informatique</u></p>	<p>L'espace informatique dans une bibliothèque est équipé de postes de travail avec des ordinateurs accessibles au public, offrant un accès à Internet et à divers logiciels. Cet espace inclut souvent des imprimantes, des scanners et des zones de travail individuelles ou en groupe. L'aménagement est conçu pour être convivial et ergonomique, avec un personnel disponible pour aider les usagers à utiliser les équipements et à naviguer en ligne. Des formations ou des ateliers peuvent également y être organisés pour améliorer les compétences numériques des utilisateurs.</p>	
<p><u>Espace de stockage</u></p>	<p>L'espace de stockage dans une bibliothèque est destiné à la conservation des collections moins consultées, comme les archives, les documents anciens ou les livres rares. Il est souvent équipé de rayonnages spécifiques, de conditions de conservation appropriées (température, humidité) et de systèmes de gestion pour garantir la préservation des matériaux. Cet espace est généralement inaccessible au public pour protéger les documents sensibles, mais le personnel peut y accéder pour les cataloguer ou les restaurer.</p>	
<p><u>Espace pour les personnes non voyants</u></p>	<p>L'espace dédié aux personnes non-voyantes dans une bibliothèque est conçu pour garantir l'accès et l'inclusion. Il comprend des ressources telles que des livres en braille, des livres audio, et des dispositifs d'assistance comme des lecteurs d'écran. L'aménagement est accessible, avec des parcours clairs et des signalétiques en braille, et le personnel est formé pour fournir une aide appropriée. Cet espace vise à créer un environnement accueillant et fonctionnel pour les usagers malvoyants.</p>	
<p><u>Circulation et sanitaire</u></p>		

Chapitre analytique

I Analyse des exemples livresques :

Fiche technique



Bibliothèque Raymond-Lévesque

- **Type** : bibliothèque publique
- **Architecte** : la firme Jodoin Lamarre Pratte architectes.
- **Situé dans la ville de Longueuil, Québec à Canada**



Bibliothèque du Boisé

- **Type** : bibliothèque publique
- **Architecte** : Éric Pelletier architecte.
- **Situé dans la ville Montréal, Canada.**



La Bibliothèque d'Alexandrie

- **Type** : bibliothèque de recherche publique
- **Architecte** : Snohetta groupe.
- **Situé dans El Shatby, Alexandrie, Égypte**

Le projet dans son environnement

Bibliothèque Raymond-Lévesque



- Jardin
- Les voies principales
- Le projet
- Les voies secondaires

la bibliothèque située dans un site mixte : urbain au nord et naturel au sud, à côté d'un grand vois mécanique.

Bibliothèque du Boisé



- jardin
- Les voies principales
- Le projet
- Les voies secondaires

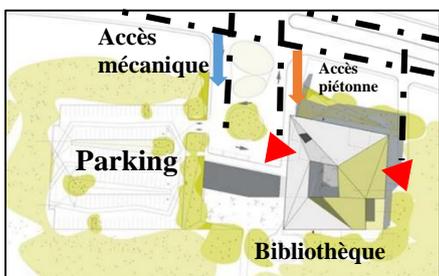
La bibliothèque située dans un site compact et bien intégré dans l'environnement.



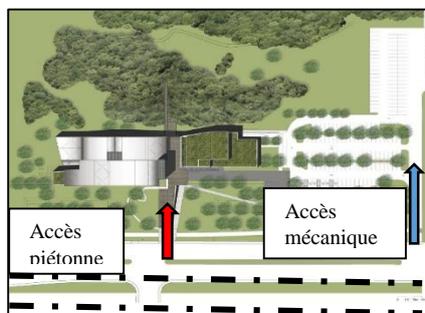
- projet
- Centre de conf
- H.U
- Mer méditerranée

La bibliothèque située dans un site riche en des équipements culturelles que attirent plus de visiteurs .

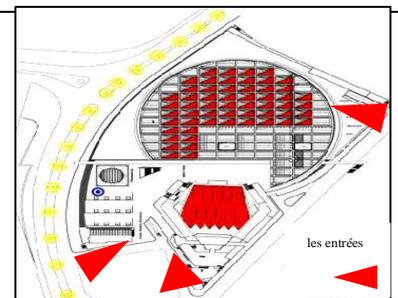
Accessibilité



La bibliothèque est bien accessible car elle est desservie par vois principale Rte 112...Longueuille



La bibliothèque est desservie par le boulevard **Thimens**



On peut traverser un pont étroit, rampes ou en passant par l'une des étapes des deux côtés de l'immeuble.

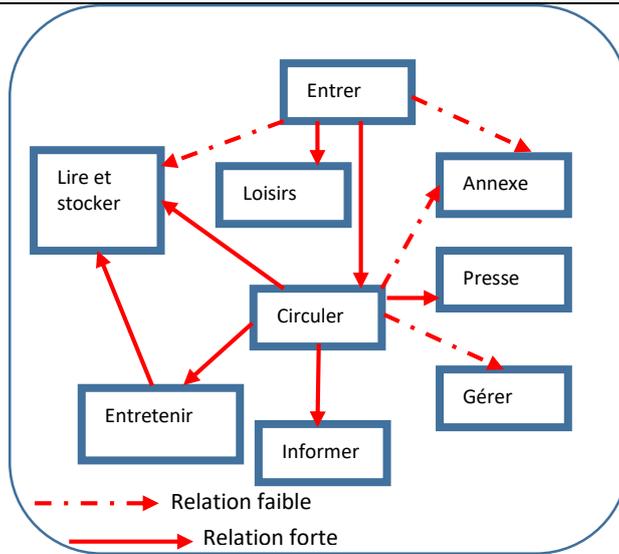
Chapitre analytique

Organisation fonctionnelle et spatiale

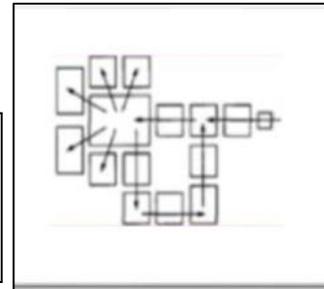
Bibliothèque Raymond-Lévesque



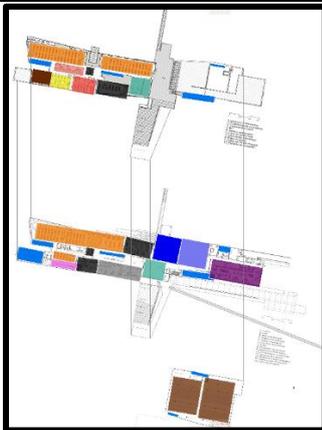
1. Hall d'entrée.
2. Salle multiservices.
3. Presse périodique
4. Réception.
5. Entretien et maintenance.
6. Espace des enfants.
7. Cours.
8. Circulation verticale
9. Patio
10. Salle de lecture pour adultes
11. Stockage
12. Espaces de travail individuel



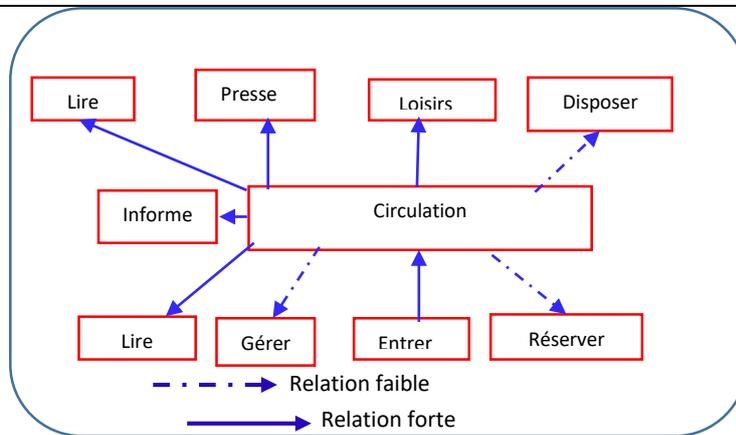
La relation entre les espaces par une organisation spatiale **complexe**



Bibliothèque du Boisé



- Circulation V
- Espace des enfants
- Hall d'entrée/ vide
- B.D
- Salle de lecture
- Reserve et quarantaine Services technique
- Salle polyvalente
- Comptoir d'information
- Administration
- Animation
- Espace de travail individuel



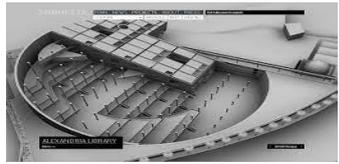
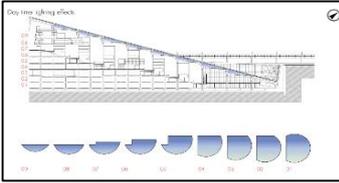
Une relation **linéaire** entre les espaces.



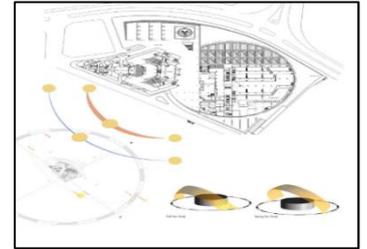
<p>Bibliothèque d'alexandrine</p>	
<p>Hiérarchie acoustique</p>	
<p>Bibliothèque Raymond-Lévesque</p>	<p>Public Semi Public Semi privé Privé</p> <p>+Bruit +Calme</p> <p>La bibliothèque</p> <p>Hiérarchie acoustique bien traité par une hiérarchie spatiale (du public à privé) vois mécanique, vois piétonne, cours, entrée, hall, réception, salles de lecture, et l'élément de transition est la cours.</p> <p>Le site naturel autour de la bibliothèque joue le rôle d'un obstacle naturel contre la propagation des sons de l'extérieur vers l'intérieur.</p>
<p>Bibliothèque du Boisé</p>	<p>Privé Semi privé Semi Public Public</p> <p>+Calme +Bruit</p> <p>La bibliothèque</p> <p>Hiérarchie acoustique bien traité par une hiérarchie spatiale (du public à privé) vois mécanique, vois piétonne, parvis, entrée, hall, réception, salles de lecture. L'élément de transition est le parvis</p> <p>Le site naturel autour de la bibliothèque joue le rôle d'un obstacle naturel contre la propagation des sons de l'extérieur vers l'intérieur.</p>

Système constructif et matériaux de constructions

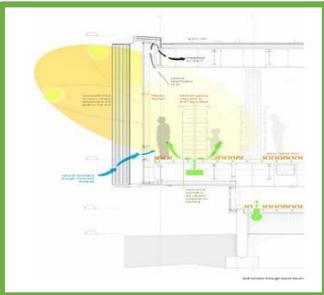
Bibliothèque alexandrine



- Forme circulaire inclinée (L'élément central de l'architecture est un disque incliné qui symbolise un soleil se levant sur la Méditerranée)
- Matériaux (Granit + Verre et aluminium)
- Isolation thermique et acoustique (granit et vitres à haute performance contrôler la température +La conception en couches multiples de l'enveloppe aide à minimiser les bruits extérieurs.)
- Technologie et durabilité (Système de gestion de l'énergie + Toit plat réfléchissant)



Bibliothèque Raymond-Lévesque



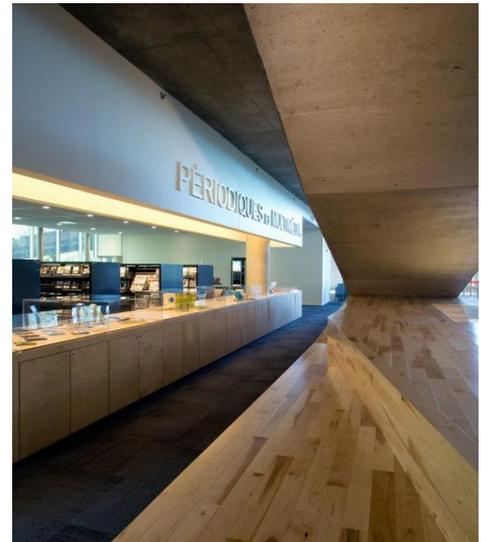
- Matériaux locaux et durables(Bois et béton)
- Murs extérieurs isolants (Isolation thermique efficace +Panneaux de façade en céramique)
- Fenestration et vitrage haute performance (Grandes fenêtres et murs rideaux en verre + Gestion solaire)
- Efficacité énergétique et gestion durable (Enveloppe hermétique + Éclairage naturel et artificiel efficace)
- Végétation et toiture verte (Toit vert + Aménagement paysager intégré)
- Isolation acoustique (Les vitrages et les murs sont conçus pour atténuer les bruits extérieurs, ce qui est



Bibliothèque du Boisé



- Matériaux durables et écologiques (Bois local + Brique et pierre)
- Enveloppe à haute performance énergétique (Isolation thermique renforcée +Vitrage haute performance)
- Gestion de l'éclairage naturel (Lumière naturelle optimisée + Brise-soleil et auvents)
- Isolation acoustique
- Végétation intégrée (Toit vert)
- Durabilité et respect de l'environnement La Bibliothèque du Boisé est conçue pour



VII Analyse des exemples existants :

Fiche technique



Bibliothèque municipale de Biskra

- **Type** : bibliothèque municipale.
- **Architecte** : Belaid Fatima.
- **Situé dans la ville Biskra, Algerie.**



Bibliothèque municipale de Canstantine

- **Type** : bibliothèque municipale.
- **Architecte** : Khalef Rachid.
- **Situé dans la ville Canstantine, Algerie.**

Le projet dans son environnement

Bibliothèque municipale de Biskra



- La bibliothèque
- Zoo

La bibliothèque est située à l'intersection de deux routes mécaniques à côté du zoo du 1er novembre et le théâtre en plein-air.

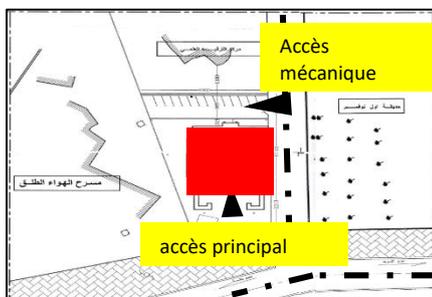
Bibliothèque municipale de Canstantine



- Station de transport urbain
- Dar el talaba
- Centre psychopédagogique
- Ponte Mellah Slimane
- Ali Zamouche Avenue

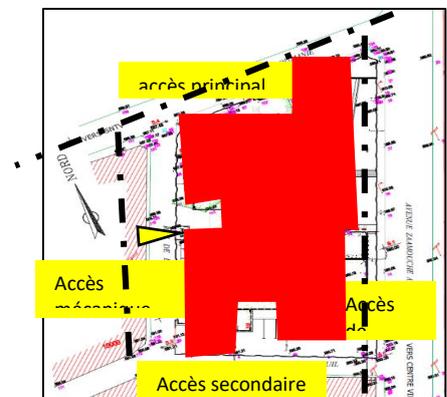
La bibliothèque est située à côté de l'avenue Ali Zamouche et la station de transport urbain que sont faciliter l'accessibilité, et près du pont Mellah Slimane, considéré comme une destination touristique pour les visiteurs de la ville.

Accessibilité



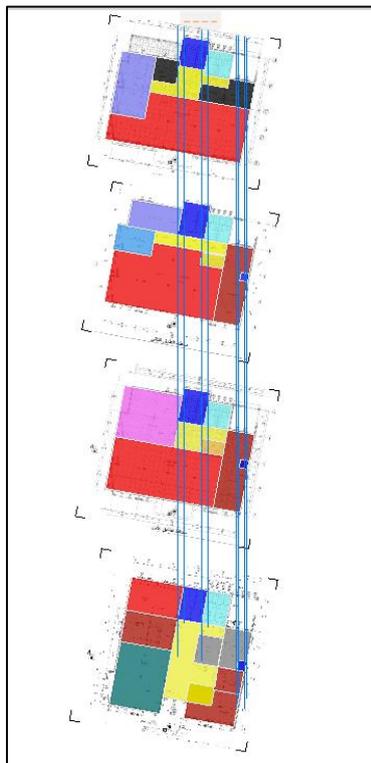
Le projet est bien accessible car il est entouré par des **voies mécaniques principales**

Le projet est facilement accessible car il est entouré par des repères touristiques



Organisation fonctionnelle et spatiale

Bibliothèque municipale de Biskra

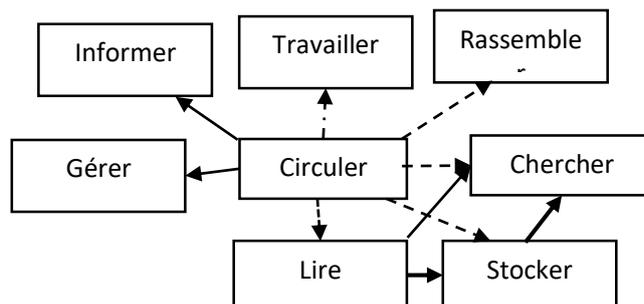


- Administration
- Stocke des livres
- Salles de lectures
- Circulation horizontale
- Sanitaire
- Internet
- Circulation
- Périodique
- Salle de conférence

Dans cette bibliothèque, l'administrative était séparée du reste des fonctions au troisième étage avec une salle de stockage des archives.

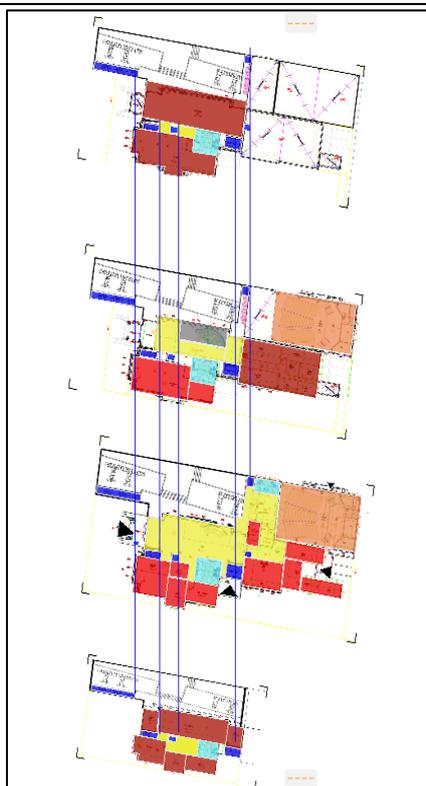
Relation forte

Relation faible



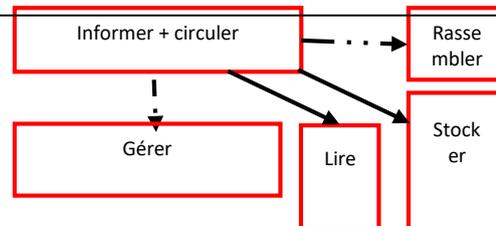
On remarque dans cette exemple l'architecte assembler les fonctions de (lire, stocker et chercher dans une seul salle)

Bibliothèque municipale de Canstantine

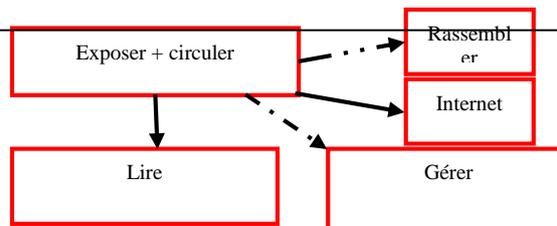


- Salle de conférenc
- Salles de lectures
- administration
- Circulation horizontale
- sanitaire
- Vide sur 1^{er} étage
- Circulation verticale

La bibliothèque était divisée en espaces les plus actifs (les plus bruyants) comme l'espace des enfants, la salle de conférence, la salle polyvalente, la salle des personnes ayant des besoins spéciaux au rez-de-chaussée et au sous-sol avec une organisation linéaire.



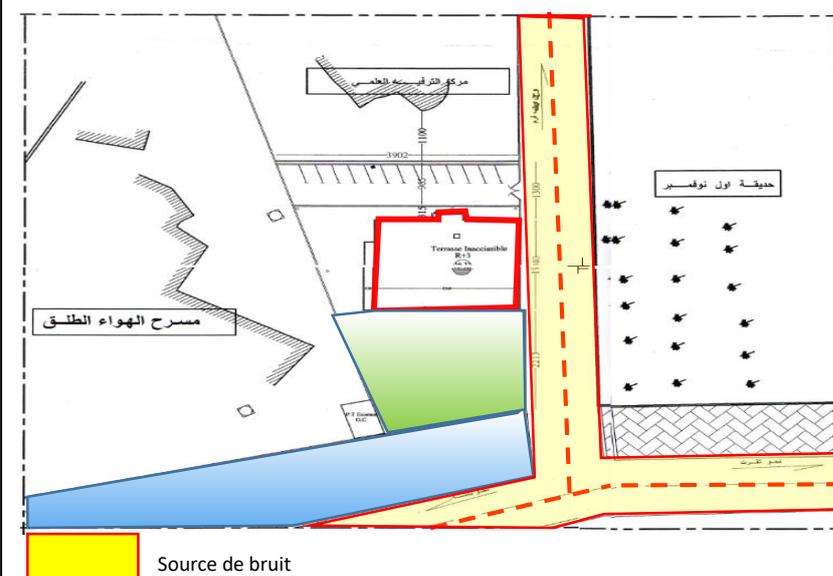
Les espaces qui nécessitent plus de calme, comme la salle de lecture, le bureau du directeur et la salle Internet au premier et au deuxième étage.



Dans cette exemple l'architecte séparer les fonctions de (lire, stocker et chercher) chaque fonction dans son espace.

Hiérarchie acoustique

Bibliothèque municipale de Biskra



Source de bruit

Hiérarchie acoustique bien traité par une hiérarchie spatiale (du public à privé) vois mécanique, vois piétonne, **préau**, entrée, hall, réception, salles de lecture, et l'élément de transition est **le préau**.

Bibliothèque municipale de Canstantine



Source de bruit

Pour réduire les bruits sonores et d'isoler les salles de lecture, on note que l'architecte a placé les dans la partie intérieure du bâtiment, et il a également placé le reste des salles de lecture et Internet aux étages supérieurs pour obtenir un peu de calme.

Système et matériaux constructif

Bibliothèque municipale de Biskra



Systeme constructif (poteau-poutre)

Eclairage naturelle totalement latéral

Stockage des livres dans le même espace de lecture.

Bibliothèque municipale de Canstantine



Systeme constructif (poteau-poutre)

Eclairage naturelle totalement latéral

Séparation des fonctions de (lire, stocker et chercher) chaque fonction dans sa espace.

Les synthèses :

<u>Synthèses</u>	
<u>L'organisation spatiale</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Zonage clair : Diviser l'espace en zones distinctes (lecture silencieuse, espace enfants, multimédia, etc.) pour répondre aux besoins spécifiques de chaque type d'utilisateur. • Accessibilité et circulation fluide : Garantir une circulation facile avec des chemins bien définis, une signalisation claire, et un accès adapté aux personnes à mobilité réduite. • Flexibilité : Créer des espaces modulaires (comme des salles polyvalentes) pour des activités diverses, et permettre des réaménagements futurs. • Éclairage et ambiance : Favoriser la lumière naturelle et utiliser un éclairage adapté pour un environnement confortable et accueillant. • Zones de travail et détente : Proposer des espaces de travail en groupe, des zones de lecture silencieuse et des zones de détente pour répondre à différents besoins d'utilisation. • L'ensemble de l'organisation doit créer un environnement convivial, favorisant l'apprentissage, la collaboration, et la détente.
<u>L'espace lectures</u>	<p>L'espace de lecture dans une bibliothèque publique doit être conçu pour offrir calme, confort et fonctionnalité. Voici les principaux aspects à prendre en compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Silencieux : Situé à l'écart des zones bruyantes (comme l'entrée, l'espace enfants ou les espaces multimédias) pour favoriser la concentration et le calme. • Confortable : Doté de sièges ergonomiques, de tables de travail, et d'un éclairage adapté (naturel ou artificiel doux) pour éviter la fatigue visuelle. • Bien éclairé : La lumière naturelle est préférable, mais des lampes individuelles ou un éclairage uniforme doux sont essentiels pour assurer un bon confort de lecture.+ orientation Nord pour les salles de lectures . • Zones variées : Prévoir des espaces pour la lecture individuelle et des espaces pour le travail en groupe ou en petits comités. • Accessible : Doit être facile d'accès pour tous, y compris les personnes à mobilité réduite, avec des allées suffisamment larges. <p>Cet espace doit être pensé pour encourager la détente, la concentration, et une lecture prolongée dans des conditions optimales.</p>
<u>L'espace accueil</u>	<p>L'espace d'accueil dans une bibliothèque publique doit être :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Central et visible : Placé près de l'entrée principale, facilement repérable dès l'arrivée. • Invitant : Aménagé de manière à être accueillant et chaleureux pour mettre les visiteurs à l'aise. • Fonctionnel : Doté d'un comptoir d'information, avec un personnel disponible pour orienter et aider les utilisateurs. • Bien signalé : Accompagné d'une signalétique claire (panneaux et plans) pour guider les visiteurs vers les différentes sections. • Équipé de technologie : Intégrer des bornes interactives ou des écrans pour les informations et les recherches autonomes. • Accessible : Prévoir des espaces adaptés aux personnes à mobilité réduite. <p>Cet espace doit faciliter l'orientation et l'accès aux services de la bibliothèque.</p>

<u>L'espace administration</u>	<p>L'espace administration dans une bibliothèque publique doit être :</p> <ul style="list-style-type: none"> •Discret et séparé : Situé à l'écart des zones publiques pour garantir calme et confidentialité. •Fonctionnel : Conçu pour répondre aux besoins du personnel avec des bureaux équipés, des espaces de réunion et des zones de rangement. •Accessible au personnel** : Près des zones d'accueil ou de gestion, pour faciliter la communication et les opérations internes. •Insonorisé : Pour éviter les interruptions et les nuisances sonores. •Ergonomique : Aménagé avec des meubles adaptés pour assurer le confort et l'efficacité du travail administratif. <p>Cet espace doit offrir un cadre de travail pratique et agréable pour le personnel administratif de la bibliothèque.</p>
<u>L'espace enfance</u>	<p>L'espace enfance dans une bibliothèque publique doit être :</p> <ul style="list-style-type: none"> •Ludique et accueillant : Conçu avec des couleurs vives et des éléments de décoration attrayants pour créer un environnement chaleureux et stimulant pour les enfants. •Sécurisé : Aménagé avec des meubles adaptés à la taille des enfants et des matériaux non dangereux pour assurer leur sécurité. •Interactif : Comprenant des zones d'activités, des jeux éducatifs et des stations multimédias pour encourager l'apprentissage par le jeu. •Zone de lecture confortable : Doté de sièges adaptés aux enfants (tapis, poufs, petits fauteuils) et de tables pour les activités de lecture et d'écriture. •Bien agencé : Organisé en sections distinctes (livres, ordinateurs, jeux) pour faciliter la navigation et permettre aux enfants de trouver facilement ce qu'ils cherchent. •Accessible aux familles : Proche des espaces d'accueil et de circulation, et adapté pour accueillir les parents ou les accompagnateurs. •Animation et activités : Prévoir un espace pour des événements, ateliers, ou lectures animées afin d'encourager la participation des enfants et de leurs familles. <p>Cet espace doit favoriser l'éveil, la curiosité et le plaisir de lire dès le plus jeune âge.</p>

Conclusion :

L'organisation spatiale d'une bibliothèque publique doit répondre à une variété de besoins fonctionnels, tout en favorisant l'inclusivité, l'accessibilité, et la flexibilité. Les bibliothèques modernes sont devenues des lieux dynamiques où l'architecture et la disposition intérieure jouent un rôle clé dans la création d'espaces de vie communautaire, d'apprentissage, et de détente.

Les éléments de passage :

Zonage Fonctionnel

- **Espaces Dedicacés** : identifier des zones spécifiques pour les différentes activités (lecture, consultation, événements, enfants, multimédia) pour optimiser l'utilisation de l'espace.
- **Flux de Circulation** : concevoir des chemins de circulation clairs pour guider les usagers entre les différentes sections sans encombrement.

Accessibilité

- **Accessibilité Universelle** : garantir que toutes les zones sont accessibles aux personnes à mobilité réduite.
- **Signalétique** : utiliser une signalétique claire et intuitive pour orienter les utilisateurs, incluant des plans de la bibliothèque et des panneaux directionnels.

Ambiance et Confort

- **Éclairage Naturel** : maximiser l'utilisation de la lumière naturelle avec des fenêtres et des puits de lumière pour créer une atmosphère agréable.
- **Matériaux Confortables** : utiliser des matériaux confortables pour les meubles et les revêtements afin de rendre l'espace accueillant.

Espace Enfance

- **Zone Ludique** : créer un espace spécialement conçu pour les enfants, avec des livres adaptés, des jeux éducatifs, et des activités.
- **Interaction Familiale** : prévoir des zones où les parents et les enfants peuvent interagir, comme des tapis de lecture et des espaces d'activités.

Espaces de Service

- **Comptoir d'Accueil** : installer un point d'information centralisé pour orienter les visiteurs et fournir des services d'assistance.
- **Zone de Prêt/Retour** : établir des zones dédiées au prêt et au retour des documents, facilement accessibles depuis l'entrée.

Chapitre pratique

Introduction :

Dans ce chapitre, nous abordons les aspects pratiques de l'étude, de sorte que nous présentons d'abord une analyse divisée en deux parties. Dans la première, nous examinerons les données relatives à la ville de Biskra à travers une analyse climatologique, que la seconde se concentrera sur l'analyse du site sélectionné. L'objectif de cette étude est de tenir compte des données climatiques spécifiques à la région ainsi que des caractéristiques morphologiques afin de mieux orienter les choix stratégiques en matière de conception, puis l'idée conceptuelle du projet, mentionnant les étapes de développement de l'élément de façade, et enfin le dossier technique du projet (plans, façades, coupes et les vues 3d de l'intérieur et l'extérieur).

I Présentation de la ville de Biskra :

Biskra est une commune du Nord-est du Sahara algérien, chef-lieu de la wilaya de Biskra, située à 400 km environ au sud-est d'Alger.

I.1 Situation géographique de la ville de Biskra :

Située au nord du Sahara algérien, au pied du massif de l'Aurès et des monts du Zab Biskra est surnommée la « reine des Zibans », « porte du désert »⁵. Elle est la porte orientale du Sahara algérien.

La ville se situe :

- À 123 km au sud-ouest de Batna
- À 388 km au nord d'Ouargla,
- À 242 de Constantine
- À 331 de Skikda, à 332 de Tébessa
- Et à 425 au sud-est d'Alger



Figure 73 : La carte géographique de l'Algérie

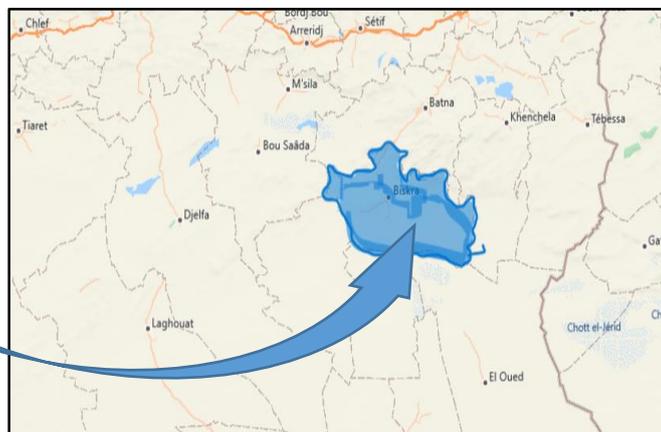


Figure 74 : La carte géographique de la ville de Biskra

Source : <http://www.carte-algerie.com/carte-routiere-algerie.html>

1.2 Le climat :

Le climat de Biskra est subtropical désertique, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés.

La ville est située au nord-est de l'Algérie, en bordure du désert du Sahara.

Les affrontements entre les masses d'air chaud du désert et celles plus froides du nord peuvent entraîner des vents forts, en particulier au printemps et en automne.

En hiver, lorsque l'air froid du nord parvient à atteindre cette zone, il peut y avoir des journées froides, avec des minimales d'environ 0 °C et des maximales de 8/10 °C.

En été, aux pires moments, la température peut atteindre 44/45 °C en mai et septembre et 47/48 °C de juin à août. En juillet 2023, il y a eu six jours avec une température maximale de 48 °C, et un jour avec une température minimale de 37 °C.¹⁵⁹

1.2.1 Les données climatiques :

La température moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 12,1 °C, celle du mois le plus chaud (juillet) est de 34,5 °C. Voici les températures moyennes.

Biskra - Températures moyennes (1991-2020)			
Mois	Min (°C)	Max (°C)	Moyenne (°C)
Janvier	7	17,3	12,1
Février	8,2	19,2	13,7
Mars	11,4	23,2	17,3
Avril	15,1	27	21
Mai	19,8	32,4	26,1
Juin	24,7	37,6	31,2
Juillet	28	40,9	34,5
Août	27,8	40,2	34
Septembre	23,3	34,6	29
Octobre	18,1	29,1	23,6
Novembre	12	22,3	17,1
Décembre	8,1	17,9	13
An	17	28,5	22,7

Tableau 5 : Biskra - Températures moyennes (1991-2020)

Source : <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20moyenne%20est%20de%2034%2C0%20%2C%20B0C%2C%20avec,environ%2023%2C5%20%2C%20B0C.>

Les précipitations totalisent 155 millimètres par an : elles sont donc au niveau désertique. Au mois le moins pluvieux (août) elles s'élèvent à 2 mm, dans le mois le

¹⁵⁹ Climats et Voyages. (n.d.). *Biskra, Algérie : climat.*

<https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20moyenne%20est%20de%2034%2C0%20%2C%20B0C%2C%20avec,environ%2023%2C5%20%2C%20B0C.>

plus pluvieux (septembre) elles s'élèvent à 25 mm. Voici la moyenne des précipitations.¹⁶⁰

Biskra - Précipitations moyennes		
Mois	Quantité (mm)	Jours
Janvier	12	4
Février	7	4
Mars	20	4
Avril	15	3
Mai	10	3
Juin	5	1
Juillet	6	1
Août	2	1
Septembre	25	4
Octobre	15	3
Novembre	15	3
Décembre	14	4
An	155	32

Tableau 6 : Précipitations moyennes-Biskra

Source : <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20moyenne%20est%20de%2034%2C0%20%2C%20B0C%2C%20avec,environ%2023%2C5%20%2C%20B0C.>

On enregistre en moyenne 3295 heures de soleil par an. Voici la moyenne des heures de soleil par jour.¹⁶¹

Biskra - Heures d'ensoleillement		
Mois	Moyenne quotidienne	Total Mois
Janvier	7	225
Février	8	225
Mars	8,5	260
Avril	9,5	280
Mai	10,5	320
Juin	11	335
Juillet	11,5	365
Août	10,5	330
Septembre	9	270
Octobre	8,5	265
Novembre	7	215
Décembre	7	210
An	9	3295

Tableau 7 : Heures d'ensoleillement-Biskra

¹⁶⁰ Climats et Voyages. (n.d.). *Biskra, Algérie : climat.*

<https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20moyenne%20est%20de%2034%2C0%20%2C%20B0C%2C%20avec,environ%2023%2C5%20%2C%20B0C.>

¹⁶¹ Climats et Voyages. (n.d.). *Biskra, Algérie : climat.*

<https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20moyenne%20est%20de%2034%2C0%20%2C%20B0C%2C%20avec,environ%2023%2C5%20%2C%20B0C.>

Source : <https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20moyenne%20est%20de%2034%2C0%20%C2%B0C%2C%20avec,environ%2023%2C5%20%C2%B0C.>

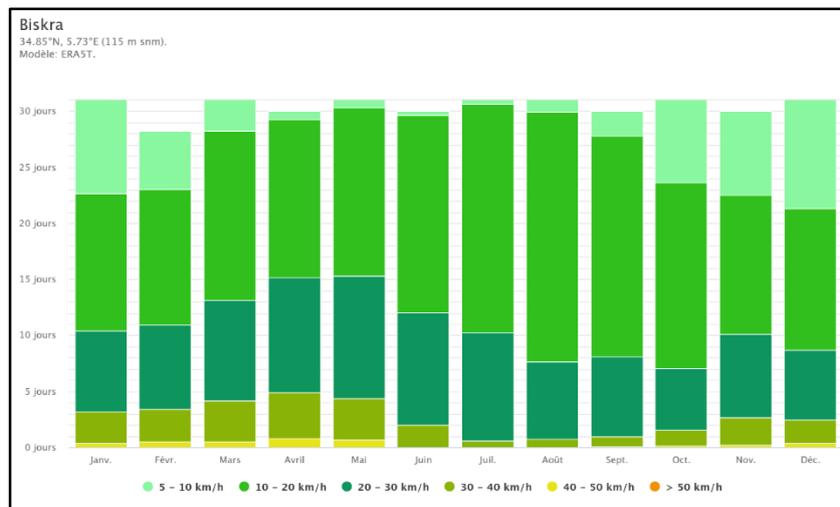


Figure 75 : diagramme de vitesse du vent de la ville de BISKRA.

Source : https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/biskra_alg%C3%A9rie_2503826

Le diagramme de Biskra montre les jours par mois, pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse. Un exemple intéressant est le plateau tibétain, où la mousson crée des vents forts et réguliers de Décembre à Avril et des vents calmes de Juin à Octobre.

Les unités de vitesse du vent peuvent être modifiées dans les paramètres (en haut à droite)¹⁶²

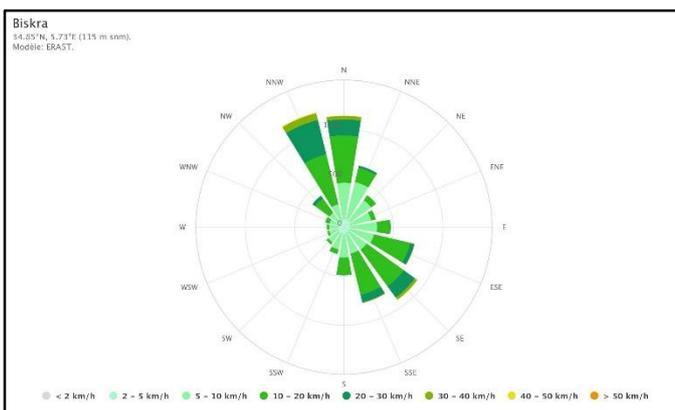


Figure 76 : la rose des vents de la ville de BISKRA

Source : https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/biskra_alg%C3%A9rie_2503826

La Rose des Vents pour Biskra montre combien d'heures par an le vent souffle dans la direction indiquée. Exemple SO : Le vent souffle du sud-ouest (SO) au nord-est (NE). [Cap Horn](#), le point de la terre plus au sud en Amérique du Sud, dispose d'un fort vent de l'Ouest caractéristique, qui produit des traversées d'est en ouest très difficiles, surtout pour les voiliers.

¹⁶² Meteoblue. (n.d.). *Biskra, Algérie : historique climatique et modèle climatique.*

https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/biskra_alg%C3%A9rie_2503826

II le programme :

Le programme proposé est un extrait du programme officiel avec quelques modifications indiquées dans le tableau « en couleurs » (enrichissement des espaces +espace d'exposition en plein air en place de salle + hall principal +salle de repos pour les personelles+ bureau de).

Le programme officiel :

Espace	Surface
Hall d'exposition	91m ²
Foyer + Bureau	52m ²
Discothèque	15m ²
Bureau	18.50m ²
Hall + Réception	37.50m ²
Dépôt	6m ²
Salle de théâtre	77.50m ²
Conservation	13m ²
Bureaux	78m ²
Salle de lecture (enfant)	135m ²
Salle de lecture	28m ²
Rayonnage	66m ²
Salle de lecture (primaire)	17m ²
Bureau du bibliothécaire	10.50m ²
Toilettes	12m ²
Salle de musique	65m ²
Salle des Archives	24.40m ²
Laboratoire	24m ²
Administration	77.50m ²
Totale	847.9m²

Chapitre pratique

Le programme proposé :

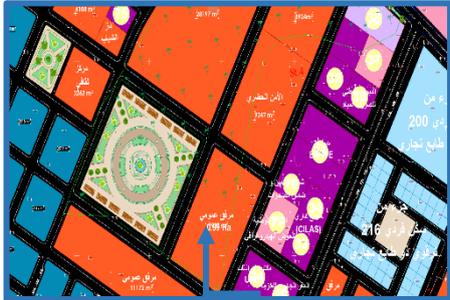
Type	Espace	Nombre	Surface
<u>Lecture pour adultes</u>	Salle de lecture en groupe	2	300m ²
	Salle de lecture individuelle	2	120m ²
	Salle de lecture de non-voyants	1	150 m ²
	Périodique	1	50 m ²
	Salle d'internet	1	60 m ²
	Salle de recherche	1	50 m ²
	Dépôt	1	120 m ²
	sanitaire	/	m ²
<u>Lecture enfants</u>	Espace des enfants	1	90 m ²
	Salle de lecture	1	90m ²
	Heure du conte	1	/
	Sanitaire	4	m ²
<u>Accueille\</u>	Hall d'accueille	1	70 m ²
	Hall principal	1	100 m ²
	Réception	1	50 m ²
<u>Administration</u>	Bureau de directeur	1	60 m ²
	Secrétariat	1	16 m ²
	Salle de repos pour personelles	1	45
	Salle de réunion	1	80
	sanitaire	/	/
<u>Annexes</u>	Salle de conférence	1/200places	250 m ²
	Espace d'exposition en plein aire	1	100 m ²
	Parking	/	400 m ²
	Entretien des livres	2	100 m ²
	Foyer	1	40 m ²
	Circulation intérieur	/	600 m ²
	Circulation extérieur	/	500 m ²
	Espace vert	/	/
<u>Totale</u>			3705m ²

III L'analyse de terrain :

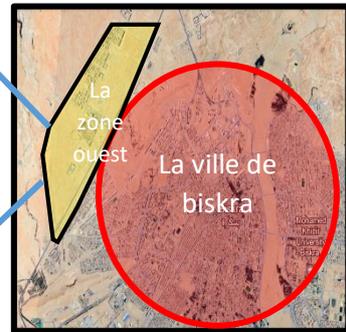
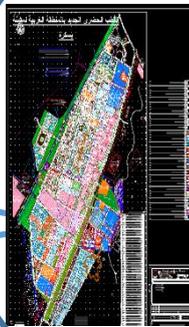
Analyse de terrain

Situation : Le terrain est situé à l'ouest de la ville de Biskra, c'est un terrain planifié dans le POS de la zone ouest n°01 convenu en 2015,

Situation géographique



Le terrain



Capture de Google earth sur la ville de Biskra

La morphologie de terrain



La forme du terrain : une forme géométrique régulière rectangle délimité par des vois mécaniques secondaire, à côté d'une placette proposé.

- Dimensionnement : 76 * 130m.
- Surface : 9922 m²

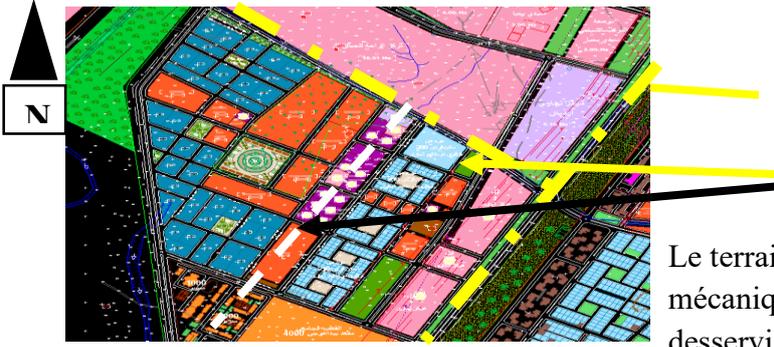
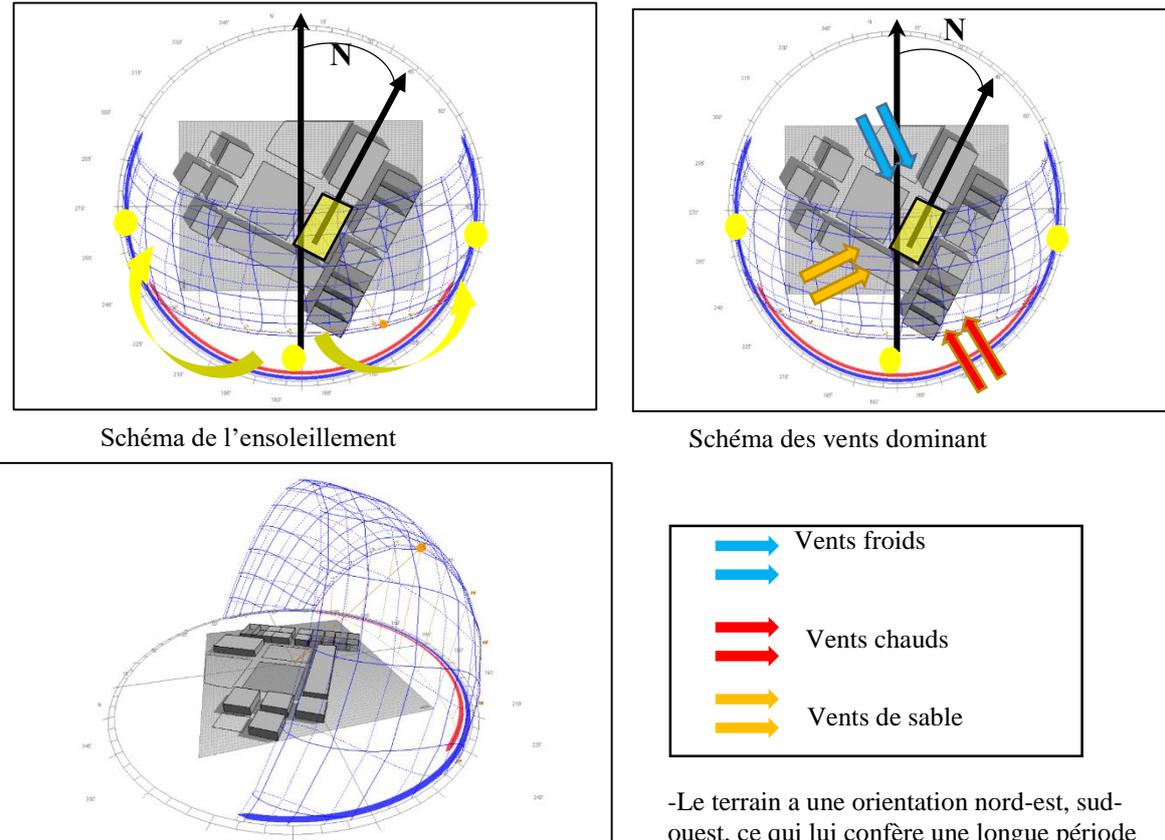
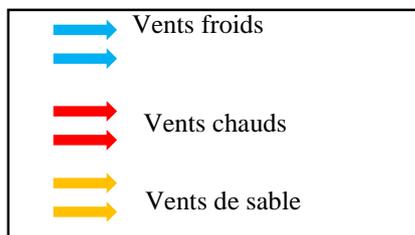


Coupe longitudinale de terrain appliquer par Google earth



Coupe transversale de terrain appliquer par Google earth

Il y'a une différence de 3m entre les bords de terrain.

<p>Accessibilité et circulation</p>	 <p>Evitement Ouest de Biskra</p> <p>Vois mécaniques</p> <p>Le terrain est entourer par des vois mécaniques secondaire dans les 4 sens.il est desservis par la route d'évitement ouest de</p> <p>Schéma des accès à proximité de terrain</p>
<p>Climatologie ensoleillement et vents dominants</p>	 <p>Schéma de l'ensoleillement</p> <p>Schéma des vents dominant</p> <p>Schéma de simulation d'ensoleillement avec Ecotect Analysis 2011</p> <p>  </p> <p>-Le terrain a une orientation nord-est, sud-ouest, ce qui lui confère une longue période d'ensoleillement le matin dans les côtés est</p> <p>-Il y a des obstacles (bâtiments voisins) , ce qui réduit l'effet du vent au terrain.</p>
<p>Synthèses</p>	<p>Les contraintes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le temps élevé d'ensoleillement dans le côté sud et sud-ouest • Les vents chauds dans le coté sud-ouest • Le problème de brouille car Le terrain est entouré par des voies mécaniques principales <p>Les solutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dégradation au niveau de la volumétrie • L'utilisation de l'enveloppe architecturale dans les orientations défavorables S/SO/O • Hiérarchie spatiale de l'extérieur à l'intérieur pour réduire la propagation des sons

IV L'idée conceptuelle :

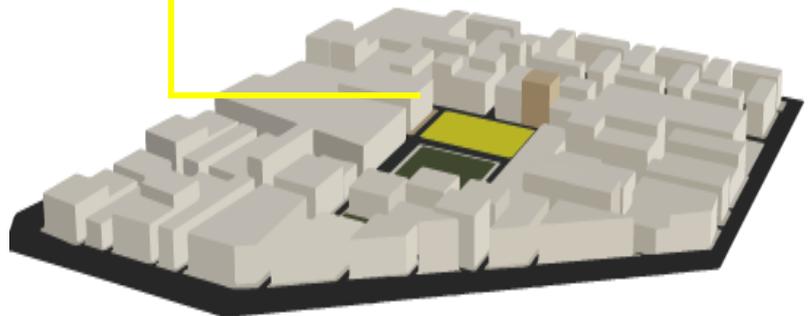
L'idée conceptuelle consiste à intégrer le projet dans son environnement physique en commençant par la forme du terrain qui est rectangulaire et qui vient s'insérer dans les trames urbaines existantes. Aussi travailler selon le contexte climatique en faisant des recherches sur les façades et leur traitement (enveloppe du bâtiment) de façon à bénéficier des éléments du climat et de l'orientation et d'échapper aux orientations défavorables évitant les effets de surchauffe et d'éblouissement.



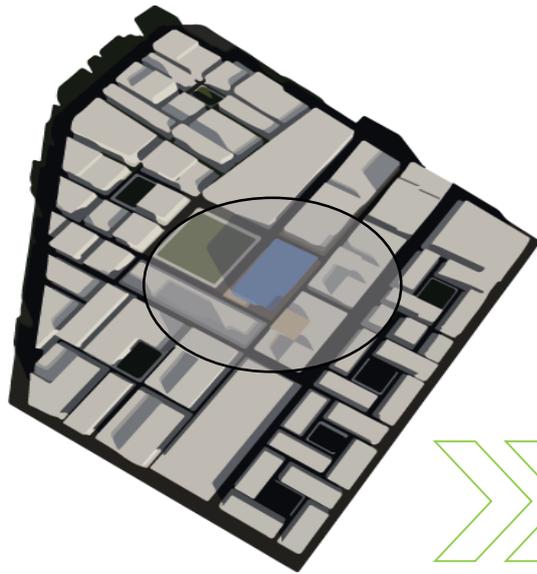
Trame urbaine orthogonale, des formes régulières (carré / rectangle .etc)



Terrain rectangulaire



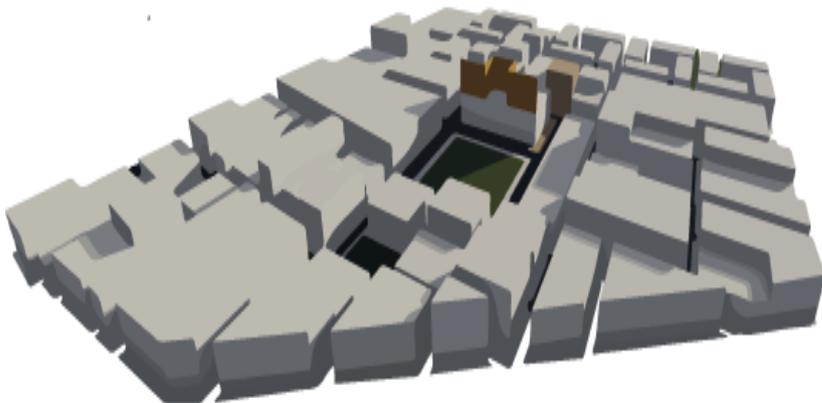
On choisit la forme parallélépipède pour intégrer le projet dans le site urbaine



On constate que les trois façades nord/est/sud sont partiellement protégées du rayonnement solaire du fait de l'ombre des bâtiments voisins, à l'exception de la façade ouest, du fait de l'absence de bâtiments voisins à proximité.



La façade ouest étant une façade indésirable en termes d'ensoleillement, elle doit être protégée par les étapes suivantes :



1. Réduire la surface exposée aux rayons solaire d'ouest par conception d'une façade brisé.
2. façade brisé = moins de rayonnement solaire porté et plus d'ombre intérieur.
3. l'utilisation de l'enveloppe architecturale dans les façades ouest et sud.





La forme obtenue nous donne



- **Bâtiment disposé** en forme de U, avec deux ailes parallèles et un espace central ouvert. Cela permet de créer des zones distinctes tout en maintenant une proximité entre les différentes sections.
- **Lumière naturelle** : une ambiance centrale accueillante bien éclairé et apaisante.
- **Entrée centrale** : L'entrée principale est située au milieu de la base du U, offrant un accès direct à toutes les zones de la bibliothèque.
- **Circulation fluide** : Les allées sont larges et bien définies, permettant une circulation aisée entre les différentes zones. Des chemins clairement balisés mènent aux ailes gauche et droite
- **Zones principales** :répartis comme suit :
 - ✓ **Aile droite** : les espaces de lecture +espace enfance+ espace des personnes non-voyants.
 - ✓ **Aile gauche** : les espaces de rayonnage +cafète+ administration +salle d'internet
 - ✓ **Espace centrale** : accueille et réception +les espaces à libre accès +circulation v

V Le développement d'élément de façade :

Le développement de l'élément de façade s'est basé sur plusieurs facteurs, parmi lesquels nous mentionnons en premier lieu la problématique posée au début de la recherche, qui s'articule autour de : « L'enveloppe architecturale se distingue en fonction des régions et des époques, influencée par les technologies, les techniques et les matériaux disponibles, ce qui contribue à l'identité des projets (culturels, administratifs, sportifs, etc.). En plus de définir l'apparence du bâtiment, elle joue un rôle essentiel dans la protection des occupants contre les variations climatiques. Pour assurer leur confort thermique, il est nécessaire de concevoir une isolation adaptée, en utilisant des matériaux durables, économes en énergie et respectueux de l'environnement » et les questions de recherches suivantes :

- Comment peut-on exploiter les matériaux locaux pour construire une enveloppe architecturale durable ?
- Quels sont les techniques constructives qui aident à restaurer l'identité architecturale tout en respectant l'environnement et le bien être des usagers ?

Et l'hypothèse proposée était donc : « Les matériaux de construction traditionnels ont un effet sur l'efficacité énergétique ». En passant par ce que j'ai extrait de l'étude théorique des différents matériaux et techniques de construction de l'enveloppe architecturale, des types et classifications de l'enveloppe architecturale, de l'architecture bioclimatique et de l'étude des caractéristiques climatiques des régions aux climats chauds et secs.

J'ai extrait l'enveloppe architecturale avec les propriétés suivantes :

Une enveloppe légère (non porteuse) avec une fonction de ventilation (enveloppe ventilée) par des matériaux locaux durable (la terre crue, fibre de palmier..), Je l'ai utilisé de deux manières et sous deux différentes formes :

1. La 1^{ère} manière est façade ventilé.
2. La 2^{ème} manière est façade double peau.

Je vais expliquer cela dans les figures suivantes :

3. La 1^{ère} manière (façade ventilée) :

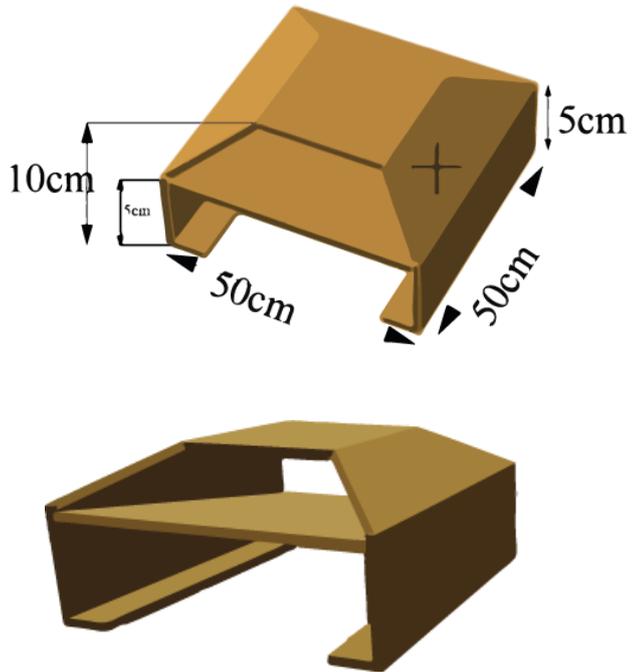


Figure 77 : schéma de l'élément de la façade ventilée

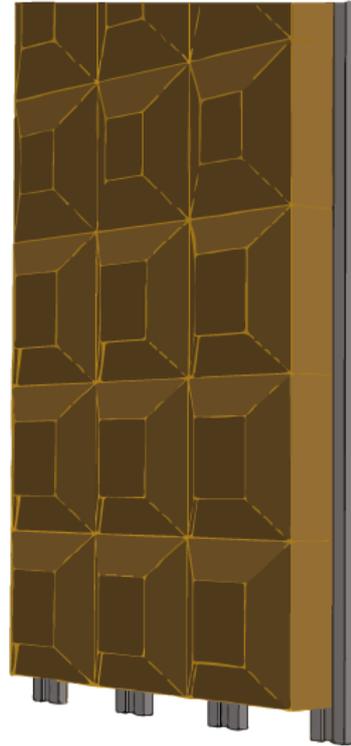


Figure 78 : schéma d'ensemble des éléments et méthode de fixation.

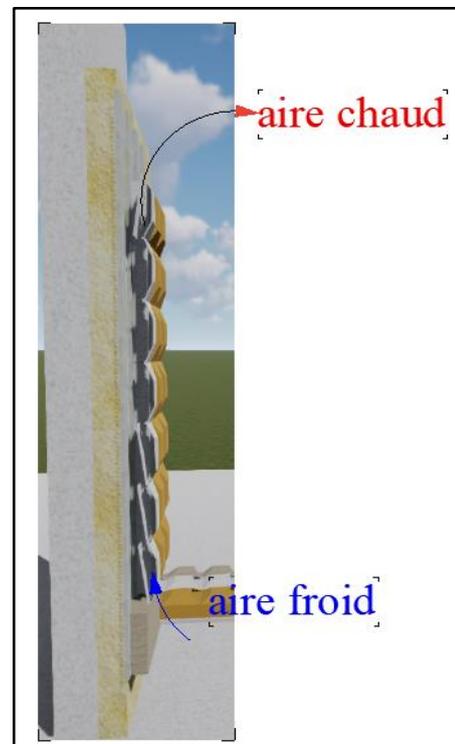
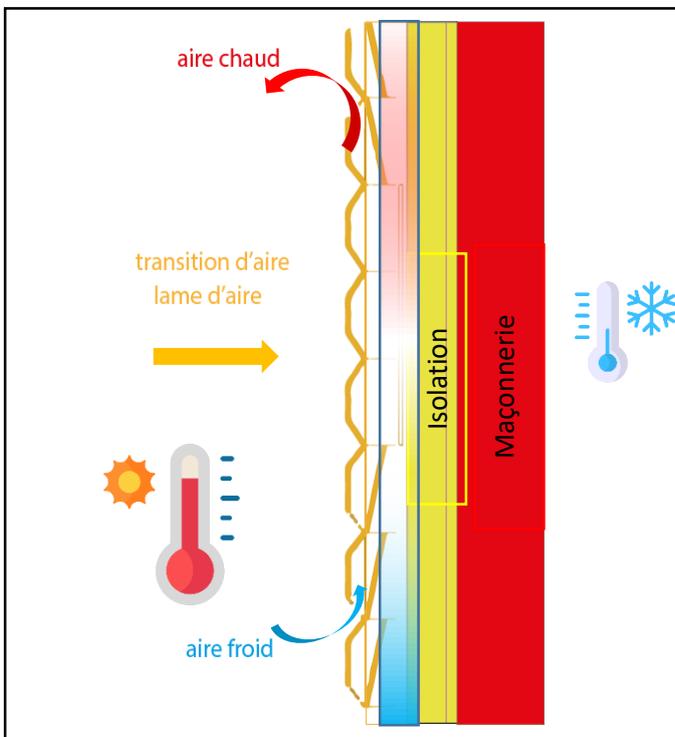


Figure 79 : schéma de fonctionnement, coupe longitudinale.

4. La mise en œuvre de l'enveloppe avec un bardage en aluminium.

Les éléments de bardage en aluminium

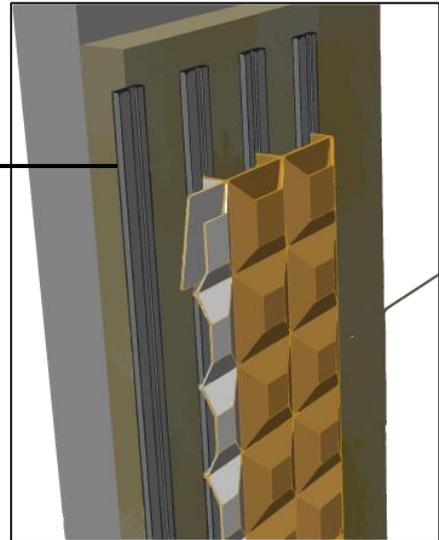


Figure 80 : vue 3d exemple d'utilisation

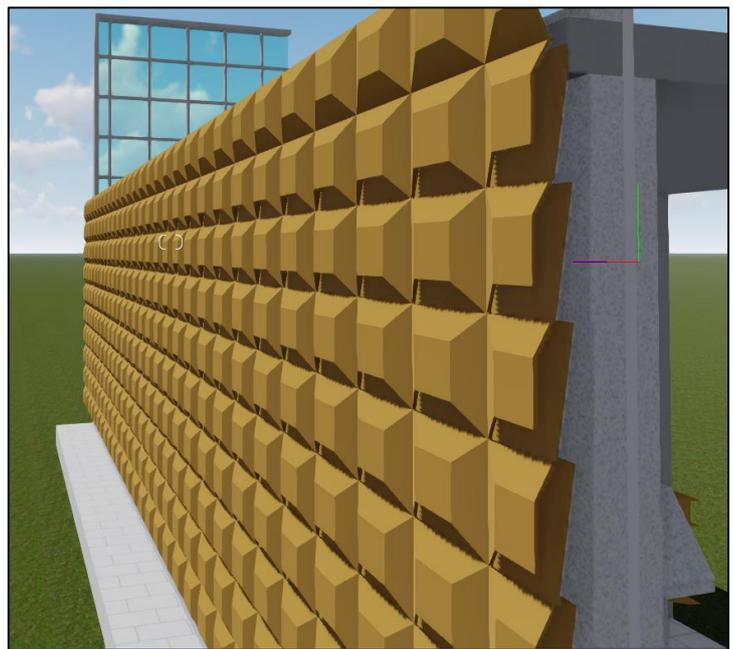


Figure 81 : coupes 3d

5. La 2^{ème} manière (façade double peau) moucharabieh :

Utiliser l'élément de la façade d'une manière différente, en s'inspirant de l'élément architectural « Moucharabieh », cela se fait en concevant des unités qui sont extérieurement similaires aux unités précédentes, avec quelques différences fonctionnelles.

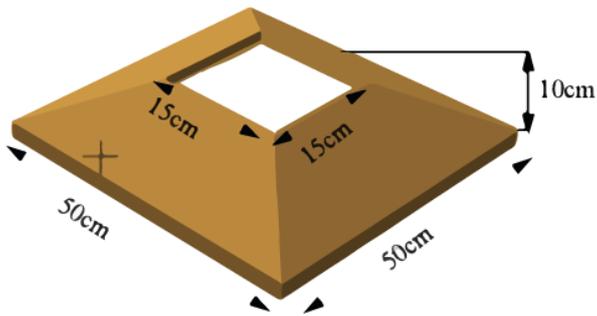


Figure 83 : schéma de l'élément de la façade double peau
Moucharabieh

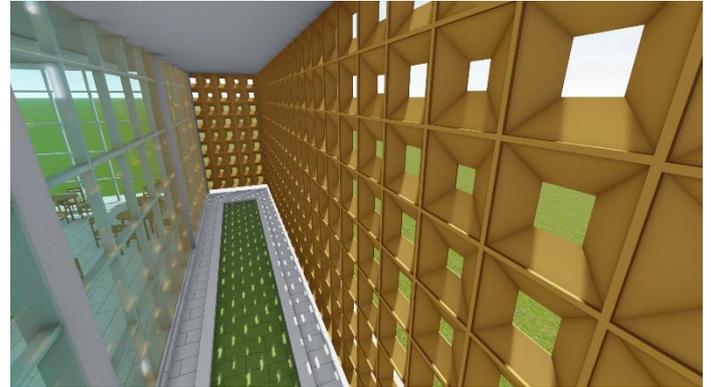


Figure 82 : coupe 3d

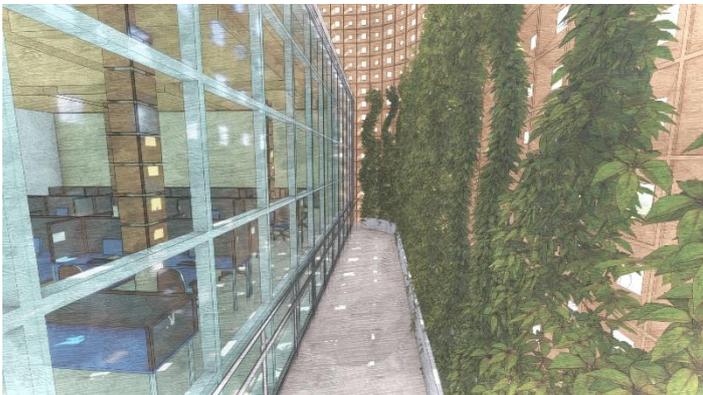
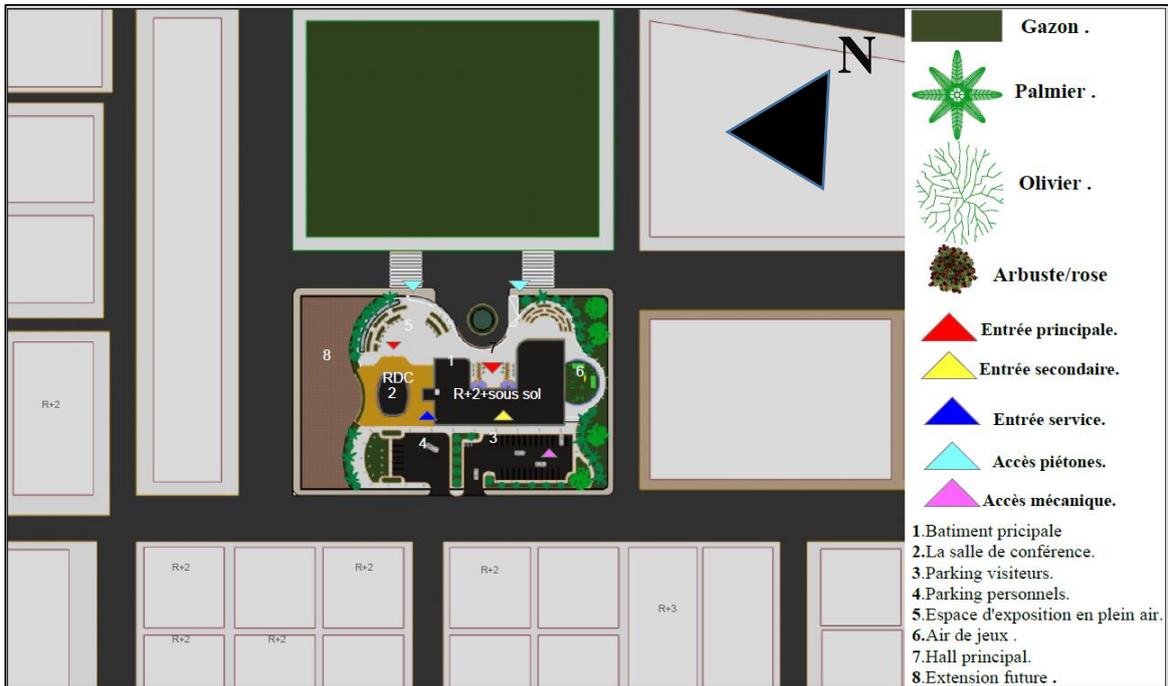
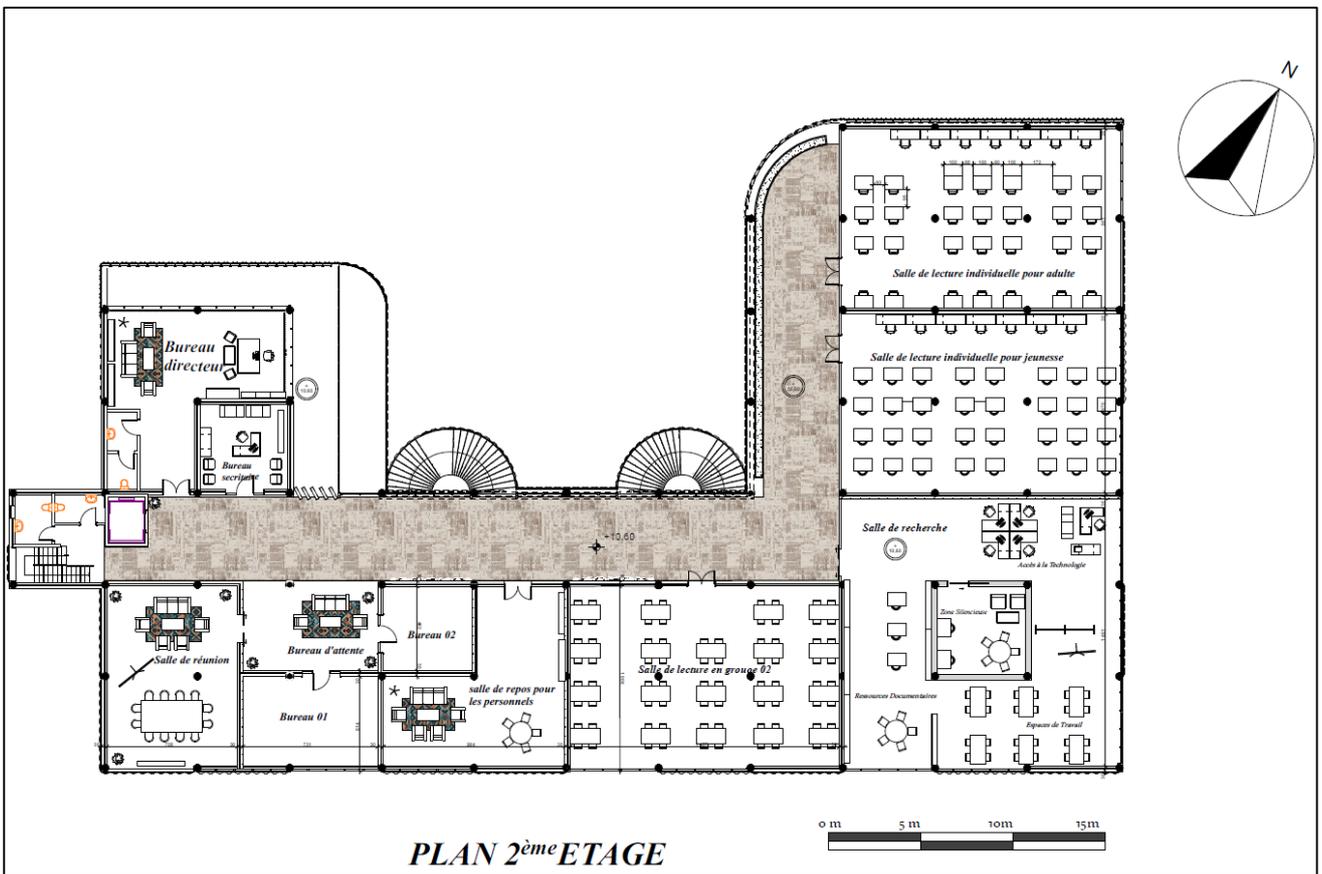
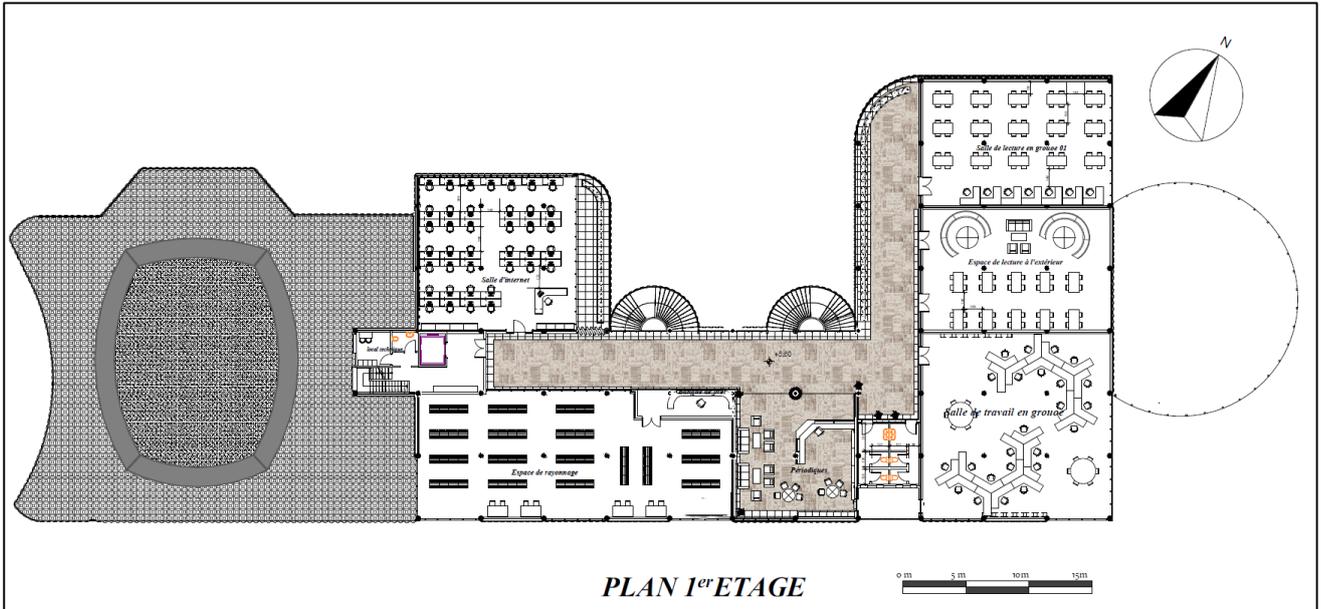


Figure 81 : vues intérieur

VI Le dossier technique du projet :

Plan masse.





Les façades :



Façade Nord- Est



Façade Nord- Ouest

Les coupes :



Coupe A-A

Conclusion générale :

Au cours de cette mémoire, nous avons exploré de manière approfondie les techniques constructives de l'enveloppe architecturale durable avec différents matériaux compatibles avec les climats chauds et secs afin d'atteindre l'efficacité énergétique nécessaire pour apporter un confort thermique à l'utilisateur dans des environnements difficiles. Ainsi, nous avons mis en évidence le rôle important de l'enveloppe architecturale en architecture bioclimatique, car elle agit comme une interface entre l'intérieur du bâtiment et son environnement extérieur. Son objectif principal est de minimiser les besoins énergétiques du bâtiment tout en améliorant le confort des occupants par :

a) Régulation thermique passive :avec

- **Isolation thermique** : Limiter les pertes ou les gains de chaleur pour maintenir une température intérieure confortable.
- **Inertie thermique** : Stocker la chaleur le jour et la restituer la nuit grâce à des matériaux massifs comme la pierre, la brique ou le béton.
- **Ventilation naturelle** : Favoriser la circulation de l'air grâce à des ouvertures stratégiques, des cheminées solaires ou des systèmes à double peau.

b) Optimisation des apports solaires :

- **Orientation** : Maximiser les apports solaires en hiver (façades sud) tout en se protégeant du soleil en été.
- **Protections solaires** : Intégrer des brise-soleils, auvents ou volets pour bloquer les rayons directs en été.

c) Gestion de la ventilation :

- **Façades respirantes** : Utilisation de matériaux permettant de gérer la vapeur d'eau (argile, bois) afin d'éviter la condensation etc...

d) Réduction des consommations énergétiques :

- **Matériaux naturels** : L'utilisation de matières comme l'argile, la terre cuite ou le bois permet d'éviter les émissions de carbone associées aux matériaux industriels

e) Confort lumineux et acoustique :

- **Éclairage naturel optimisé** : Conception de façades permettant un éclairage naturel maximal sans provoquer d'éblouissement.

- **Atténuation acoustique** : L'enveloppe limite les nuisances sonores grâce à des matériaux absorbants et à une bonne étanchéité à l'air

f) **Façades actives** : Systèmes de récupération d'énergie, par exemple, récupération de chaleur sur l'air extrait via une double peau ventilée.

En résumé, l'enveloppe architecturale en bioclimatique assure un équilibre entre protection climatique, efficacité énergétique, et bien-être des occupants. Elle doit s'adapter aux spécificités du climat local, en utilisant des stratégies passives avant d'avoir recours à des systèmes énergétiques actifs.

Bibliographie

- Cercle Promodul. (n.d.). Enveloppe du bâtiment. <https://lab.cercle-promodul.inef4.org/knowledge/post/enveloppe-du-batiment>
- Dejeant, F., Joffroy, T., et Garnier. (2021). Matériaux locaux, matériaux d'avenir : Ressources locales pour des villes et territoires durables en Afrique.
- LA MAISON SAINT-GOBAIN. (n.d.). *Construction et rénovation en terre crue*. Récupéré le 23 juillet 2024, de <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/renovation-energetique-habitat-durable/terre-crue-construction-renovation>.
- Kolb, J. (2011). Bois : systèmes constructifs .
- Fruchard, E., & Piaud, V.(2015) *TECHNIQUE DE CONSTRUCTION EN PAILLE* .
- Kind-Barkauskas, F. (2006). *Construire en béton: conception des bâtiments en béton armé*. Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Techniques de l'Ingénieur (n.d) <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-techniques-du-batiment-l-enveloppe-du-batiment-tiaebt2/archive-1/les-betons-speciaux-tba1022/>
- Techno-Science. (n.d.). Béton. https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Beton-page-5.html#ref_8
- Le moniteur.(2014) le béton préfabriqué dans la maison individuelle.pdf

- Infociments. (n.d.). Les bétons projetés : définition, techniques de projection, formulation, utilisations, avantages et inconvénients. Infociments. <https://www.infociments.fr/betons/les-betons-projetes-definition-techniques-de-projection-formulation-utilisations-avantages-et-inconvenients>
- Travaux Béton. (n.d.). **Tout savoir sur le béton projeté**. Travaux Béton. <https://travauxbeton.fr/beton-projete/>

- Lemoine, B., Landowski, M. (2012). *Concevoir et construire en acier*. (p : 06.): Eyrolles. <https://www.infosteel.be/images/publicaties/concevoir-et-construire-en-acier.pdf> Dr. AATTACHE ,A(2017). *NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT*. (p : 01) https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf
- Dr. AATTACHE ,A(2017). *NOUVEAU MATERIAU : LE VERRE DANS LE BATIMENT*. (p :02) https://www.univ-usto.dz/images/coursenligne/VB_AA.pdf

- Mme Amraoui ,Kh.Doctorat . *Pour une optimisation des potentialités environnementales de l'enveloppe architecturale dans le contexte des zones chaudes et arides :Cas des bâtiments résidentiels*. UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA.(p :15)
- GUERRAM , GH ET LOUAFI ,I. MASTER. L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DE BATIMENT TERTIAIRE SURE LE CONFORTE THERMIQUE. UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI – OEB.(p :43)
- Haddig,A,kh. *L'enveloppe architecturale élément de régulation thermique cas des bâtiments administratifs dans les zones arides le projet : la direction de la DLEP à Eloued.mémoire de master.université Med-khider Biskra*.
- FindMyHome.at. (2022, July 22). *Architecture organique*. MYHOME Blog. <https://myhome.at/fr/architecture-organique/>
- Trouver Mon Photographe. (n.d.). *Blob architecture, l'architecture du futur ?* https://www.trouver-mon-photographe.fr/fr/actualites/blob-architecture-l-architecture-du-futur?_country=fr
- Mon Peintre. (n.d.). « Tout ce qu'il faut savoir sur le crépi de façade » <https://monpeintre.pro/crepi-facade-a-savoir/>
- Batiproducts. (n.d.). *Définition de appareillage*. <https://www.batiproducts.com/batiwiki/appareillage/definition/2B17EEAE-D1D8-4854-9151-FC5DF5446812/>
- Petrone Architecture. (2013, septembre 1). *Les 6 fonctions de l'enveloppe*. <https://www.petronearchitecture.com/single-post/2013/09/01/les-6-fonctions-de-l-enveloppe>
- eRT2012. (n.d.). *Explication de l'architecture bioclimatique*. <https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>
- Gerram,I. Louafi ,I.(2018) L'IMPACT DE L'ENVELOPPE EXTERIEURE DU BATIMENT TERTIAIRE SUR LE CONFORT THERMIQUE, université larbi ben mhidi.mémoire de master.
- De Herde, A., & Liébard, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*.
- . Conseils Thermiques. (n.d.). *Isolation intérieure ou extérieure : que choisir ?* Conseils Thermiques. <https://conseils-thermiques.org/contenu/isolation-interieure-ou-exterieure.php>
-
- Dr.Sriti,L.(n.d). RESPECTER LE SITE ; S'INTÉGRER À L'ENVIRONNEMENT1 ÈRE ÉTAPE POUR UNE ARCHITECTURE ENVIRONNEMENTALE. Cours de master 2
- Larousse. (n.d.). *Climat : les climats du monde*. Larousse. https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/climat_les_climats_du_monde/185927
- Neufert, E. *Les éléments des projets de construction(2009) 10° édition*.

- Climats et Voyages. (n.d.). *Biskra, Algérie : climat*.
<https://www.climatsetvoyages.com/climat/algerie/biskra#:~:text=La%20temp%C3%A9rature%20moyenne%20est%20de%2034%2C0%20%C2%B0C%2C%20avec,environ%2023%2C5%20%C2%B0C>.
- Meteoblue. (n.d.). *Biskra, Algérie : historique climatique et modèle climatique*.
https://www.meteoblue.com/fr/meteo/historyclimate/climatemodelled/biskra_alg%C3%A9rie_2503826

Annexe

Les vues intérieurs et extérieurs :



Vue extérieur 01



Vue extérieur 02



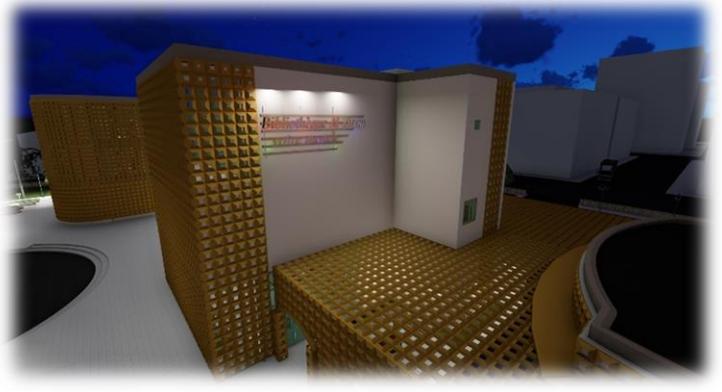
Vue extérieur 03



Vue extérieur 04



les vues extérieurs avec l'éclairage artificiel.



Vues intérieurs avec éclairage artificiel





Vue intérieur 01 : « Réception » RDC



Vue intérieur 02 : « Banque de prêt + collection » RDC



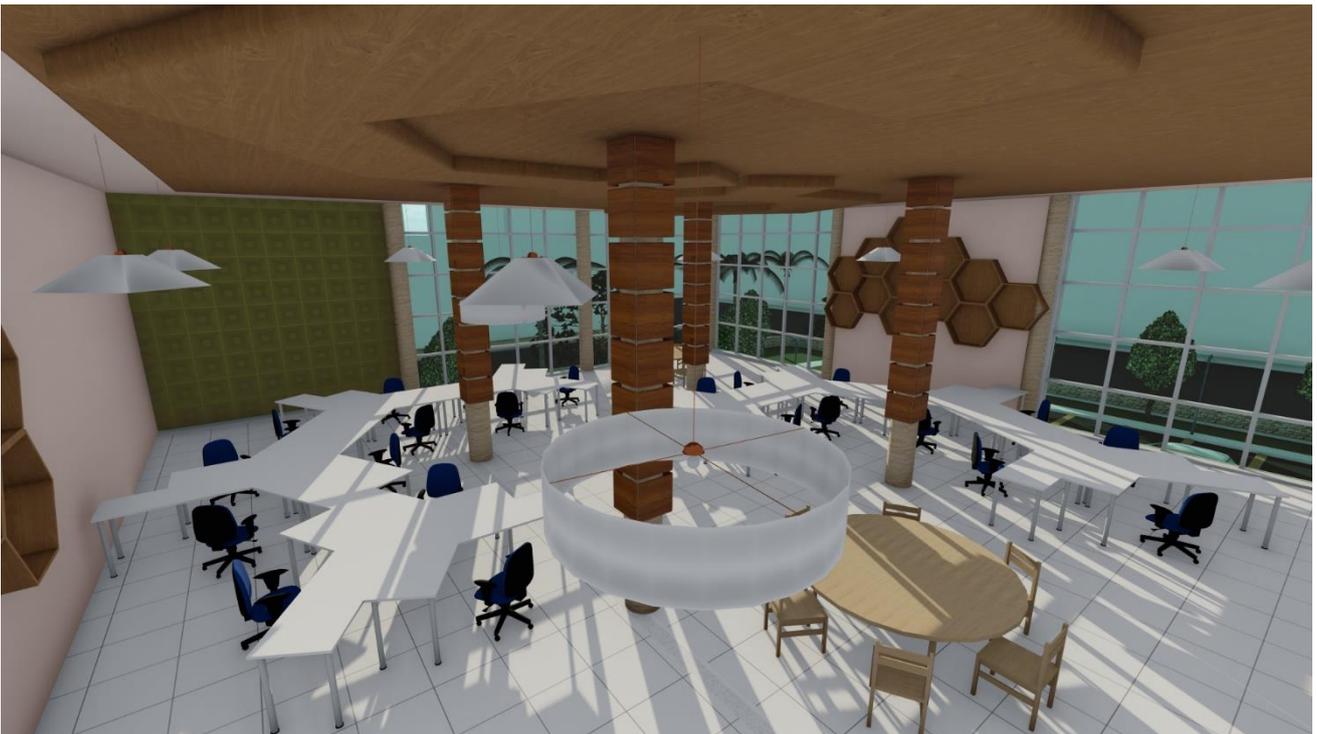
Vue intérieur 03 : « foyer » /RDC



Vue intérieur 04 : « foyer avec une vue panoramique à l'extérieur » /RDC



Vue intérieur 05 : espace enfant « heure du conte »./RDC



Vue intérieur 06 : espace enfant « salle de travail »./RDC



Vue intérieur 07 : «Espace périodique »/1^{er} étage .



Vue intérieur 08 : « Banque de prêt de 1^{er} étage ».



Vue intérieur 09 : « salle d'internet » /1^{er} étage.



Vue intérieur 10 : « espace de lecture à l'extérieur » /1^{er} étage.



Vue intérieur 11 : « salle de travail en groupe ». /1^{er} étage



Vue intérieur 12 : salle de lecture en groupe/1^{er} étage.



Vue intérieur 13 : salle de recherche /2^{ème} étage.



Vue intérieur 14 : « circulation horizontale" /2^{ème} étage.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد خيضر - بسكرة
حاضنة أعمال جامعة بسكرة



رقم 86 / الحاضنة / 2024

شهادة توظيف /تحضين "مشروع مبتكر ضمن قرار 1275"

انا الممضي أسفله، السيد (ة): مجد جلاب

مسير(ة) حاضنة الأعمال: جامعة محمد خيضر - بسكرة-

المقر الاجتماعي / العنوان: المجمع الإداري المقابل لكلية العلوم الاقتصادية، الطابق الثاني، جامعة بسكرة 07000

رقم علامة الحاضنة: 2311223051

تاريخ تسليم العلامة: 23 نوفمبر 2022

أشهد أن الطالب / الطلبة التالية أسمائهم:

الاسم واللقب	الطور الدراسي	التخصص	الكلية
هياق زينب	ماستر	هندسة معمارية	علوم وتكنولوجيا

تحت إشراف الاستاذ/الاساتذة التالية أسمائهم:

الاسم واللقب	الرتبة	التخصص	الكلية
دخية عزالدين	MCA	هندسة معمارية	علوم وتكنولوجيا

تم احتضانه على مستوى حاضنة أعمال جامعة محمد خيضر - بسكرة بمشروع تحت اسم:

Techniques constructives de l'enveloppe architecturale d'un bâtiment durable dans les régions à climat
.chaud et sec.

خلال السنة الجامعية 2024/2023 .

سلمت هذه الشهادة بطلب من المعني للإدلاء بها في حدود ما يسمح به القانون.

حرر في: بسكرة بتاريخ 03/10/2024





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد خيضر بسكرة

عنوان المشروع:

**Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable
dans les régions à climat chaud et sec.**

العلامة التجارية



الاسم التجاري

Enveloppe en terre
(Enveloterre)

السنة الجامعية: 2023 / 2024

حول فريق الاشراف وفريق العمل
1- فريق الاشراف:

فريق الاشراف	
المشرف الرئيسي 01: د. دخية عز الدين	التخصص: هندسة معمارية

2- فريق العمل:

فريق العمل	التخصص	الكلية
الطالبة هياق زينب	هندسة معمارية	العلوم والتكنولوجيا



فهرس المحتويات

الخطة

- ❖ المحور الأول: تقديم المشروع
- ❖ المحور الثاني: الجوانب الابتكارية
- ❖ المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق
- ❖ المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم
- ❖ المحور الخامس: النموذج الاولي التجريبي + BMC

المحور الأول

تقديم المشروع

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

I المحور الأول : تقديم المشروع

مقدمة:

في ظل التغيرات المناخية السريعة وارتفاع درجات الحرارة العالمية، أصبح من الضروري إيجاد حلول مبتكرة ومستدامة لتحسين كفاءة الطاقة في المباني. تشير التقارير إلى أن قطاع البناء يمثل حوالي 40% من إجمالي استهلاك الطاقة عالمياً، مما يعكس الحاجة الملحة لتبني تكنولوجيا البناء الذكي والحلول البيئية. يجب أن تركز هذه الحلول على تقليل الفاقد في الطاقة، تعزيز استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتطوير أنظمة لتقليل تأثيرات الحرارة المفرطة على البيئات الحضرية.

فكرة المشروع:

المشروع يهدف إلى تصميم وحدات بناء تتضمن غلافًا معماريًا مصنوعًا من مواد أولية طبيعية محلية مثل الطين والرمل وألياف النخيل. يتميز التصميم بالابتكار وملاءمته لمفهوم الواجهة الموهوة، مما يعزز التهوية ويستفيد من الخصائص الفيزيائية للطين الذي يتمتع بكفاءة حرارية عالية. الهدف الأساسي من هذا المشروع هو تقليل استهلاك الطاقة وتحقيق راحة حرارية مناسبة داخل المباني، مما يساهم في تعزيز الاستدامة وتحسين جودة الحياة للمستعملين.

العنصر	الشرح
طبيعة المشروع	تصميم وحدات بناء تتضمن غلافًا معماريًا مصنوعًا من مواد أولية طبيعية محلية تحت مفهوم الواجهة الموهوة
اسم المشروع	Enveloterre
مجال النشاط	صناعي
موقع المشروع	ولاية اولادجالال. الجزائر
النطاق	المحلي
الفئة المستهدفة	-المهندسون المعماريون والمصممون -المطورون العقاريون -المقاولون وشركات البناء -مالكو المباني التجارية والسكنية -الهيئات الحكومية والمؤسسات البيئية -المستثمرون في قطاع البناء الأخضر

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

1. القيم المقترحة:

غلاف معماري بتصميم مبتكر يوفر راحة حرارية داخل المباني. يعتمد التصميم على استخدام مواد طبيعية صديقة للبيئة، مثل الطين والرمل وألياف النخيل، المتوفرة محلياً وبتكاليف منخفضة. يركز المشروع على تحسين كفاءة الطاقة من خلال دمج الخصائص الحرارية لهذه المواد، مما يساهم في خلق بيئات داخلية مريحة ومستدامة للسكان.

2. فريق العمل:

الفريق	الوظيفة
مدير المشروع	إدارة الموارد وتوجيه فريق العمل والتواصل مع الموردين والمستثمرين
مشرف الإنتاج	الإشراف على عملية الإنتاج وضمان جودة المنتج
عمال الإنتاج	مسؤولون عن تحضير الطين، تشكيل الوحدات، ومعالجة المنتجات. يجب أن يكونوا مدربين على استخدام المعدات بشكل صحيح.
عمال صيانة	صيانة المعدات
مخبري	إجراء التجارب المخبرية على المواد واختبارها لضمان جودتها.
مندوب مبيعات	التسويق للمنتج
مهندس معماري	تصميم وتطوير المنتج

3. اهداف المشروع:

أولاً: الأهداف قصيرة المدى:

- تطوير المواد الأولية: استخدام الطين، الرمل، وألياف النخيل في إنتاج وحدات بناء تتناسب مع مفهوم الواجهة المبهواة.
- تحسين الأداء الحراري: اختبار المواد المحلية لتوفير عزل حراري طبيعي وتقليل درجات الحرارة الداخلية.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

- تقليل التكاليف: الاستفادة من المواد المحلية لتقليل تكاليف البناء مقارنة بالمواد الصناعية المستوردة.

- بدء المشاريع التجريبية: تنفيذ نماذج أولية للمباني وتجربة كفاءتها في بيئات حقيقية.

ثانياً: الأهداف متوسطة المدى:

- نشر التكنولوجيا على نطاق أوسع: توسيع نطاق استخدام وحدات البناء في مختلف المشاريع المعمارية داخل البلاد، بما في ذلك المباني السكنية والتجارية.

- زيادة كفاءة الطاقة: تقليل الحاجة إلى أنظمة التدفئة والتبريد الصناعية من خلال الاعتماد على الخصائص الطبيعية للعزل الحراري التي توفرها المواد المستخدمة.

- دعم الصناعات المحلية: تعزيز استخدام المواد الخام المحلية من خلال تشجيع

المنتجين المحليين وزيادة الطلب على المنتجات الطبيعية، مما يساهم في دعم الاقتصاد المحلي.

- التوعية والاستدامة: نشر الوعي بين المهندسين والمعماريين بأهمية استخدام مواد طبيعية وصديقة للبيئة في البناء.

ثالثاً: الأهداف بعيدة المدى:

- تحقيق الاستدامة البيئية: تقليل الاعتماد على المواد الصناعية ذات البصمة الكربونية

العالية، والاعتماد على مواد بناء طبيعية مستدامة تؤدي إلى خفض الانبعاثات الضارة.

- تحسين جودة الحياة: توفير بيئات معيشية مريحة وصحية للسكان من خلال تحسين

العزل الحراري وتقليل درجات الحرارة الداخلية في الصيف وتحسين التهوية الطبيعية.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

- البحث والابتكار المستدام : الاستمرار في تطوير تقنيات البناء باستخدام مواد طبيعية

ومحلية لتلبية التحديات المستقبلية في مجال الاستدامة المعمارية.

- توسيع الأسواق الدولية : تسويق هذه التقنيات في دول أخرى ذات ظروف مناخية مشابهة،

مما قد يفتح آفاقًا جديدة للصادرات والاستثمار.

4. جدول زمني لتحقيق المشروع

المرحلة	المدة	الخطة
المرحلة 1: التخطيط والتضخيم (الشهر 1 - الشهر 3)	الأسبوع 1 - 4	- دراسة جدوى المشروع واختيار المواد المحلية المناسبة (الطين، الرمل، ألياف النخيل)
	الأسبوع 5 - 8	- تصميم النموذج الأولي للغلاف المعماري المبتكر - إعداد خطة العمل والميزانية
المرحلة 2: تطوير واختبار المواد (الشهر 4 - الشهر 7)	الأسبوع 9 - 1	- إجراء تجارب على المواد المحلية لقياس الخصائص الحرارية والفيزيائية
	الأسبوع 13 - 16	- تحسين النموذج الأولي بناءً على نتائج الاختبارات
	الأسبوع 17 - 20	- إنتاج وحدات بناء أولية وتجريبها على نماذج مصغرة.
المرحلة 3: التنفيذ العملي والتطبيق التجريبي (الشهر 8 - الشهر 12)	الأسبوع 21 - 24	- تنفيذ مشروع بناء تجريبي باستخدام الوحدات المطورة.
	الأسبوع 25 - 22	- قياس كفاءة الوحدات في توفير الراحة الحرارية
	الأسبوع 29 - 30	- تحسين النظام بناءً على ملاحظات المشروع التجريبي
المرحلة 4: التوسع والتسويق (الشهر 13 - الشهر 18)	الأسبوع 31 - 33	- تطوير خطط لتسويق الوحدات في الأسواق المحلية.
	الأسبوع 37 - 40	- العمل على توسعة المشروع ليشمل مشاريع بناء سكنية وتجارية أكبر.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

- تحسين تقنيات الإنتاج والتصنيع	الأسبوع 41 - 44	المرحلة 5: التحسين المستمر
- البدء في تسويق الوحدات دوليًا في المناطق التي تواجه تحديات مناخية مشابهة	الأسبوع 45 - 48	

ملاحظات:

- يمكن تعديل الجدول الزمني وفقًا لمدى توفر الموارد والتكنولوجيا، بالإضافة إلى التقدم المحرز في كل مرحلة.
- يشمل الجدول الزمني أيضًا المرونة للتعامل مع النتائج غير المتوقعة والتعديلات المحتملة في التصميم أو الإنتاج.

**Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable
dans les régions à climat chaud et sec**

المحور الثاني الجوانب الابتكارية

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

1. طبيعة الابتكارات :

- ❖ استخدام مواد محلية طبيعية: مثل الطين والرمل وألياف النخيل، ما يقلل من الاعتماد على المواد الصناعية ويوفر خيارًا منخفض التكلفة وصديقًا للبيئة.
- ❖ تصميم واجهة مهواة: يتيح التهوية الطبيعية للمباني، مما يُحسّن كفاءة استهلاك الطاقة ويقلل من الحاجة إلى أنظمة التبريد أو التدفئة.
- ❖ عزل حراري طبيعي: استغلال الخصائص الفيزيائية للطين لخلق عزل حراري فعال، ما يُسهم في تحسين الراحة الحرارية داخل المباني.
- ❖ تطوير وحدات بناء معيارية: تسمح بسهولة التركيب والتكيف حسب متطلبات المشاريع المختلفة، مع الحفاظ على كفاءة المواد المستعملة.

2. مجالات الابتكارات في المشروع:

- الابتكار في التصميم المعماري: تطبيق مفهوم الواجهة المهواة بأشكال مختلفة عن الموجودة في السوق، أكثر جمالية.
- سهولة الاستعمال: تركيب عن طريق حوامل من الألمنيوم أو تركيب مباشر على الجدار عن طريق الاسمنت اللاصق.
- الابتكار في كفاءة الطاقة: تعزيز العزل الحراري وتوفير الراحة الحرارية دون الاعتماد على أنظمة التدفئة أو التبريد التقليدية، للتقليل من استهلاك الطاقة.
- الابتكار في الاستدامة البيئية: الاعتماد على الموارد الطبيعية المحلية، لتعزيز التنمية المستدامة.

المحور الثالث

التحليل الاستراتيجي للسوق

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

1. تحليل SWOT

تحليل SWOT يهدف إلى تقييم الوضع الاستراتيجي للمشروع أو المؤسسة من خلال تحديد نقاط القوة والضعف، بالإضافة إلى الفرص والتهديدات المحيطة. يساعد هذا التحليل في فهم العوامل الداخلية والخارجية التي تؤثر على الأداء، مما يمكن لإدارة مشروع (enveloterre) من اتخاذ قرارات مستنيرة، تطوير استراتيجيات فعالة، وتحسين القدرة التنافسية. بشكل عام، هو أداة قيمة للتخطيط الاستراتيجي.

نقاط القوة S	نقاط الضعف W	الفرص O	المعيقات T
<ul style="list-style-type: none"> ■ استخدام مواد محلية : الاعتماد على مواد طبيعية ومحلية مثل الطين وألياف النخيل يقلل من التكلفة ويعزز الاستدامة البيئية. ■ الاستدامة البيئية: استخدام المواد الطبيعية يقلل من التأثير البيئي السلبي ويوفر حلاً أكثر صداقة للبيئة مقارنة بالمواد التقليدية. ■ الراحة الحرارية: الواجهة المهيأة تساهم في تحسين العزل الحراري، مما يقلل من استهلاك الطاقة ويوفر بيئة داخلية مريحة. ■ الترويج للتراث المحلي : المشروع يساهم في تعزيز واستخدام تقنيات البناء التقليدية المحلية ويعزز التراث المعماري المحلي. ■ التكلفة المنخفضة: توفر المواد المحلية وسهولة الإنتاج يمكن أن يقلل من التكاليف الإجمالية للمشروع مقارنة باستخدام مواد مستوردة أو تقنيات بناء متقدمة. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ مقاومة أقل للعوامل البيئية القاسية: المواد الطبيعية مثل الطين وألياف النخيل قد لا تكون بنفس متانة المواد التقليدية مثل الخرسانة وال فولاذ في مواجهة الظروف المناخية القاسية. ■ المحدودية التكنولوجية : قد تكون تقنيات التنفيذ والبناء محدودة مقارنة بالطرق الحديثة، مما قد يؤثر على السرعة والجودة. ■ قلة الوعي بالسوق: قد يواجه المشروع صعوبة في كسب ثقة المستهلكين الذين قد يفضلون الحلول التقليدية الأكثر شيوعاً. ■ متطلبات الصيانة : الوحدات المصنوعة من الطين وألياف النخيل قد تتطلب صيانة دورية أكبر مقارنة بالمواد التقليدية. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ زيادة الطلب على البناء المستدام: الوعي المتزايد بأهمية الاستدامة البيئية يمكن أن يعزز الطلب على هذا النوع من المشاريع. ■ الدعم الحكومي: قد تتوفر برامج دعم حكومي أو حوافز للمشاريع التي تستخدم مواد بناء مستدامة وبيئية. ■ التصدير للأسواق الخارجية: يمكن تصدير الوحدات المبنية من المواد المحلية إلى الأسواق الخارجية المهتمة بالمواد البيئية والمستدامة. ■ التعاون مع الشركات المعمارية الحديثة: يمكن تطوير المشروع بالتعاون مع مهندسين ومعماريين حديثين لتطوير أساليب بناء أكثر فعالية. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ المنافسة من المواد التقليدية: المواد التقليدية مثل الخرسانة والفولاذ لا تزال الخيار الأكثر انتشاراً في قطاع البناء. ■ التغيرات المناخية: قد تؤثر التغيرات المناخية القاسية على استدامة المواد الطبيعية المستخدمة. ■ عدم استقرار الأسعار: تغيرات أسعار المواد المحلية أو تكاليف الإنتاج قد تؤثر سلباً على القدرة التنافسية للمشروع. ■ العوائق الثقافية: بعض المجتمعات قد تتردد في تبني تقنيات بناء جديدة أو غير مألوفة بالنسبة لهم.

باستخدام هذا التحليل، يمكن توجيه المشروع لتحقيق أفضل استفادة من نقاط القوة والفرص مع العمل على تخفيف المخاطر والتهديدات المحتملة.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

2. تحليل PESTEL :

سياسية	اقتصادية	اجتماعية	قانونية	بيئية	تقنية
التشريعات: دعم الحكومة للابتكار في البناء المستدام قد يشمل إعفاءات ضريبية أو تسهيلات في الحصول على تصاريح البناء. استقرار السياسة: سياسات حكومية مستدامة تعزز من فرص المشاريع البيئية وتساهم في تطوير البنية التحتية.	نمو الاقتصاد: زيادة النمو الاقتصادي تعزز من القدرة الشرائية للمستهلكين، مما يؤدي إلى مزيد من الاستثمارات في البناء. أسعار المواد: تقلبات أسعار المواد الخام تؤثر على تكاليف الإنتاج وبالتالي على الأسعار النهائية للمشاريع.	الوعي البيئي: تزايد الاهتمام بالممارسات المستدامة من قبل المجتمع، مما يرفع الطلب على مواد البناء الصديقة للبيئة. التوجه نحو الصحة: رغبة المستهلكين في العيش في بيئات صحية تعزز الطلب على حلول البناء التي تحسن جودة الهواء.	معايير البناء: وجود لوائح وقوانين تحدد متطلبات السلامة والجودة التي يجب الالتزام بها عند استخدام مواد بناء معينة. الامتثال البيئي: ضرورة الالتزام بقوانين حماية البيئة، مما يؤثر على المواد المستخدمة وطرق التصنيع.	التغيرات المناخية: ضرورة تصميم الوحدات بحيث تكون قادرة على مواجهة الظروف المناخية المتغيرة. الممارسات المستدامة: التزام المشروع بالممارسات التي تحمي البيئة مثل تقليل الفاقد واستخدام الطاقة المتجددة.	الابتكار في التصنيع: تقدم التكنولوجيا في أساليب إنتاج المواد الطبيعية، مما يؤدي إلى تحسين جودة وكفاءة المواد المستخدمة. التصميم المعماري: استخدام برامج تصميم حديثة تساعد في تطوير حلول مبتكرة لمواجهة المهبوة.

3. المزيج التسويقي:

(1) المنتج (Product):

- الغلاف المعماري المبتكر enveloterre يدعم الواجهة المهبوة، بمواد محلية طبيعية قليلة التكلفة.
- تصميم واجهات مهبوة لتحسين كفاءة الطاقة والراحة الحرارية.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

(2) السعر: (Price)

- تسعير تنافسي بناءً على تكلفة المواد المحلية.
- عروض خاصة للمشاريع الكبيرة أو المؤسسات الحكومية.
- تسعيرة خاصة بالزبائن الدائمين.

(3) المكان: (Place)

- توزيع المنتجات عبر شركات البناء والمطورين العقاريين في الجنوب الجزائري.
- متاجر مواد البناء المحلية والأسواق البيئية.
- معارض مواد البناء الوطنية.

(4) الترويج: (Promotion)

- حملات تسويقية توعوية تبرز فوائد المواد الطبيعية والاستدامة.
- استخدام وسائل التواصل الاجتماعي والإعلانات المحلية لجذب العملاء.
- المشاركة في المعارض الوطنية لمواد البناء.

(5) التوزيع:

قنوات التوزيع:

- شركات البناء: التعاون مع مقاولين ومطورين لتقديم وحدات البناء كجزء من مشاريعهم.
- موزعون محليون: استخدام موزعين معتمدين لتوفير الوصول إلى الأسواق المحلية.

المتاجر:

- مراكز مواد البناء: عرض المنتجات في متاجر مواد البناء الكبرى والمتاجر البيئية.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

التوزيع المباشر:

- نقاط بيع مباشرة: إنشاء معارض لعرض الوحدات المعمارية والتفاعل مع العملاء.

التسليم:

- نظام لوجستي فعال: تطوير خطة لتسهيل عمليات التسليم للمشاريع في مختلف المواقع.

(6) طريقة الدفع:

- تكون على شكلين :

- ✓ الدفع المباشر عند الاستلام
- ✓ CCP الدفع عن طريق

4. عرض القطاع السوقي:

السوق المحتمل:

القطاع السكني:

- الأفراد الراغبون في بناء منازلهم باستخدام مواد صديقة للبيئة.
- المطورون العقاريون الذين يهتمون بتطوير مشاريع سكنية مستدامة.

القطاع التجاري:

- الشركات التي تسعى لبناء مكاتب أو منشآت تجارية مستدامة.
- المطورون الذين يبحثون عن حلول مبتكرة لتلبية متطلبات المباني الخضراء.

الهيئات الحكومية:

- المشاريع العامة مثل المدارس والمرافق الحكومية التي تتطلب معايير بناء مستدامة.

السوق الدولية:

- الدول والمناطق التي تسعى لتقليل بصمتها البيئية وتعزيز البناء المستدام.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

السوق المستهدف:

المطورون العقاريون:

- شركات تطوير المشاريع السكنية والتجارية التي تبحث عن حلول بناء مستدامة.

المهندسون المعماريون:

- المعماريون الذين يفضلون تصميمات مبتكرة باستخدام مواد طبيعية.

المستثمرون:

- الأفراد أو الشركات الذين يرغبون في الاستثمار في مشاريع بناء صديقة للبيئة.

الهيئات الحكومية:

- مشاريع البناء الحكومية التي تتطلب معايير استدامة محددة.

السوق المحلية:

- المجتمعات المحلية الراغبة في بناء منازل مستدامة باستخدام موارد طبيعية متاحة.

5. الموردین:

❖ موردو الطين والرمل: الموردین المحليین للمواد الخام الطبيعية مثل الطين والرمل، يمكن

العثور عليهم في المناطق الزراعية أو الصحراوية.

❖ موردو ألياف النخيل: الحصول على الألياف من شركات متخصصة في منتجات النخيل أو

المزارعين المحليين.

❖ موردو معدات التصنيع: شركات تصنيع المعدات اللازمة لتشكيل الوحدات المعمارية، مثل

آلات الضغط والتشكيل.

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

المنافسين:

- ❖ شركات البناء التقليدية: الشركات التي تستخدم مواد بناء صناعية مثل الخرسانة والحديد، مما يجعلها منافسًا قويًا في السوق.
- ❖ المشاريع المستدامة: الشركات التي تركز على البناء الأخضر وتستخدم مواد طبيعية، مما يعكس التوجه نحو الاستدامة.
- ❖ الشركات الناشئة: الشركات الصغيرة التي تتبنى تقنيات بناء جديدة ومبتكرة، خاصة في مجال المواد البيئية.
- ❖ الموردون الدوليون: الشركات التي تستورد مواد بناء عالية التقنية قد تشكل تهديدًا في توفير خيارات أفضل للمستهلكين.

6. الزبائن:

- ❖ المطورون العقاريين: الشركات التي تبحث عن حلول بناء مستدامة لتلبية احتياجات السوق السكني والتجاري.
- ❖ المهندسون المعماريون: الذين يهتمون بتصميم مباني مبتكرة وصديقة للبيئة.
- ❖ الهيئات الحكومية: المشاريع التي تتطلب معايير بناء مستدامة، مثل المدارس والمرافق العامة.
- ❖ المستهلكون النهائيون: الأفراد الذين يسعون لبناء منازلهم باستخدام مواد صديقة للبيئة وتوفير الطاقة.

المحور الرابع

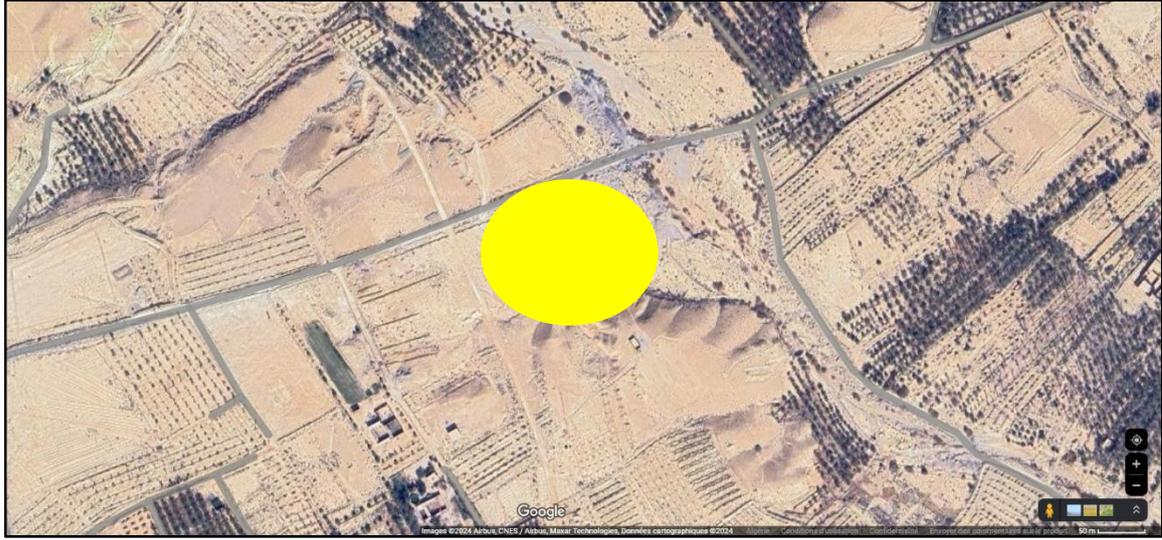
خطة الإنتاج والتنظيم

Les techniques constructives de l'enveloppe d'un bâtiment durable dans les régions à climat chaud et sec

II المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

(1) الموقع:

يقع المشروع في المنطقة الصناعية لولاية اولادجلال بالقرب من مصنع الجبس بقرية ديفل يقع موقع المشروع بالمنطقة الشمالية لمدينة اولادجلال بالضبط في التوسع العمراني الجديد (المدينة الجديدة) بالقرب من الطريق الولاى رقم 61.



(2) سبب اختيار الموقع:

- توفر المواد الاولية في المنطقة الجغرافية المستهدفة تقليل التكلفة الإجمالية ولتقليل الأثر البيئي المرتبط بالشحن.
- موقع ذو مناخ جاف ومستقر لتجنب مشاكل الرطوبة، حيث إن الطين يتأثر بشكل كبير بالمياه.
- قرب الموقع من طرق المواصلات الرئيسية لسهولة توزيع المنتجات.

(3) الجانب العمراني للمشروع:

الاستعمال	المساحة	الفضاء
• إنشاء مناطق مُخصصة لتحضير الطين (تنقية و خلط المواد). • قسم مخصص لتشكيل الوحدات الطينية باستخدام قوالب خاصة بالوحدات المَهوَّاة. • قسم للمعالجة الأولية (التجفيف الطبيعي) للوحدات الطينية بعد تشكيلها.	200 م ²	ورشة الإنتاج
• إنشاء مساحات كبيرة مُغطاة بأشعة أو سقائف لتحمي الطين من الأمطار والشمس المباشرة، ولكن تسمح بتدفق الهواء لعملية التجفيف الطبيعية.	300 م ²	مرافق التجفيف

● يمكن استخدام التقنيات الحديثة مثل الأفران الشمسية أو الأفران التقليدية الطينية.		
بناء مخازن كافية لاستيعاب الوحدات الجاهزة للتوزيع أو البيع. هذه المخازن يجب أن تكون جيدة التهوية، ومحمية من العوامل الجوية.	200 م ²	مستودعات التخزين
يجب إنشاء مختبر لمراقبة جودة المواد الطينية وضبط المعايير التقنية للوحدات.	100 م ²	المختبر
استراحة للعمال / مكان لصيانة المعدات /	150 م ²	مرافق أخرى
	100 م ²	المكاتب الإدارية
	200 م ²	مخزن للمواد الأولية
	1230 م ²	المساحة الاجمالية

(4) المعدات المطلوبة :

- معدات لاستخراج وتجهيز الطين.
- خلطات ميكانيكية أو يدوية لخلط الطين والمواد الإضافية (مثل القش أو الرمال).
- قوالب تشكيل الطين حسب التصاميم المطلوبة للوحدات المهوأة.
- أفران طينية أو تقليدية لتسريع عملية التجفيف في حال الحاجة.

(5) مراحل انتاج المشروع:

1. تجميع المواد الخام:
 - الحصول على الطين والرمل وألياف النخيل من الموردين المحليين.
2. تحضير المواد:
 - معالجة الطين والرمل وفقاً لنسب محددة لضمان جودتها.
3. خلط المواد:
 - مزج الطين والرمل وألياف النخيل للحصول على تركيبة متجانسة.
4. التشكيل:
 - استخدام قوالب خاصة لتشكيل الوحدات المعمارية.
5. التجفيف:
 - ترك الوحدات لتجف بشكل طبيعي أو باستخدام تقنيات تجفيف تقليدية (فرن تقليدي)
6. التعزيز:

- معالجة الوحدات للزيادة من متانتها وكفاءتها الحرارية.

7. التحقق من الجودة:

- إجراء اختبارات للتحقق من جودة الوحدات واستيفائها للمعايير المطلوبة.

8. التعبئة والتغليف:

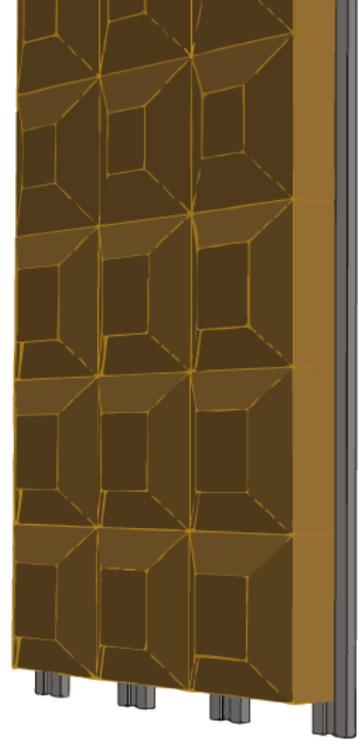
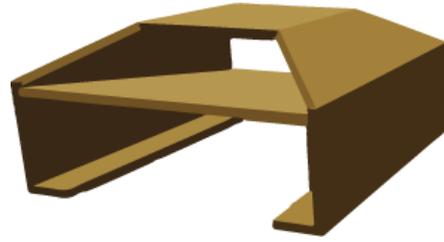
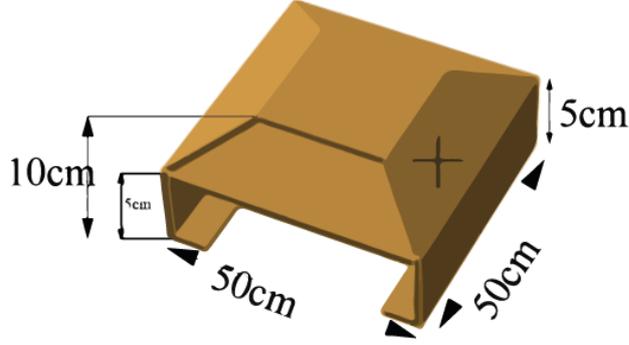
- تجهيز الوحدات للتوزيع، وضمان سلامتها أثناء النقل.

9. التوزيع:

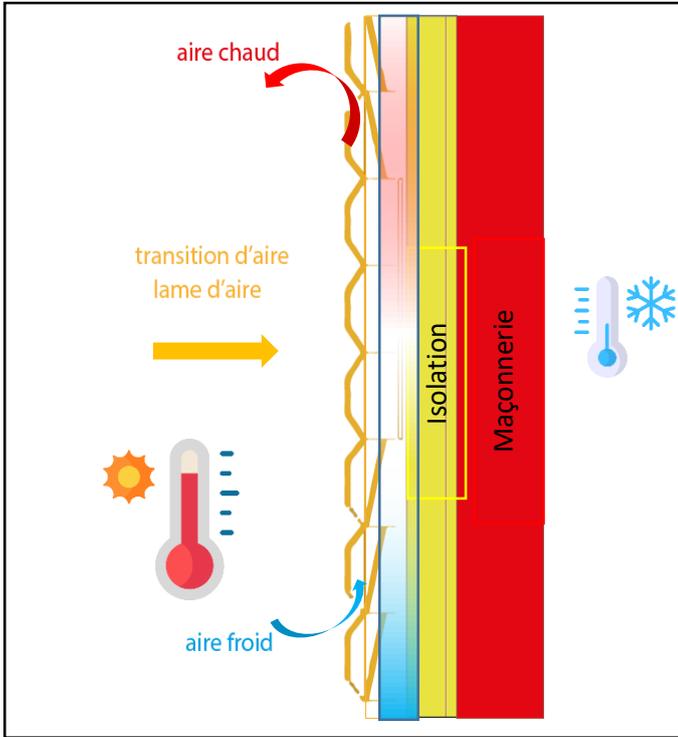
- توصيل الوحدات إلى العملاء أو نقاط البيع المحددة.

المحور الخامس: النموذج الاولي التجريبي

نظرا لعدم استطاعتي الحصول على قالب للوحدة الأساسية للواجهة قمت بتصميم افتراضي ثلاثي الابعاد كما هو موضح في الصور التالية :



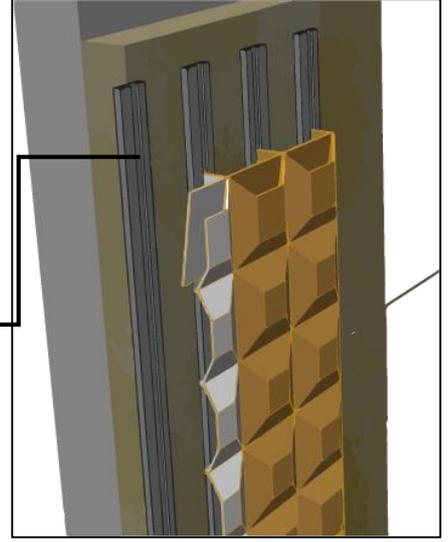
شكل الوحدة الرئيسية المكونة للغلاف



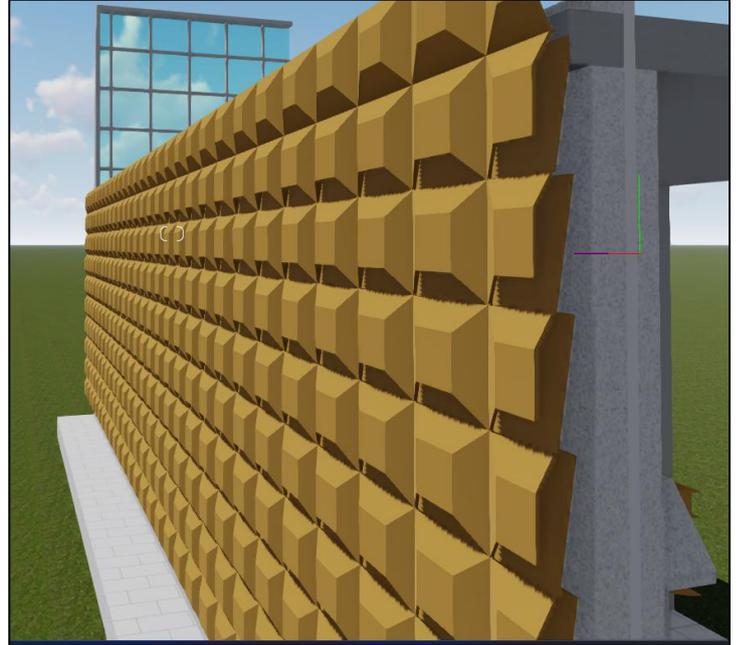
شكل الواجهة بعد تجميع مختلف العناصر

رسم تخطيطي لمقطع طولي للواجهة وطريقة عملها

(mise en œuvre avec bardage en aluminium عناصر التركيب)



مقاطع ثلاثية الابعاد لواجهات افتراضية



نموذج العمل التجاري BMC

<u>شرائح العملاء</u>	<u>العلاقات</u>	<u>القيمة المقترحة</u>	<u>الأنشطة الرئيسية:</u>	<u>الشركات الرئيسية</u>
<ul style="list-style-type: none"> - شركات البناء والمقاولات. - الوكالات العقارية. - نقاط بيع مواد البناء بالجملة والتجزئة. - افراد 	<ul style="list-style-type: none"> - في الميدان sur .site 	<ul style="list-style-type: none"> غلاف معماري بتصميم مبتكر يوفر راحة حرارية داخل المبنى، مواد طبيعية صديقة للبيئة، متوفرة محليا ومنخفضة التكاليف. 	<ul style="list-style-type: none"> - انتاج وبيع الوحدات. - خدمة ما بعد البيع. 	<ul style="list-style-type: none"> - شركات انتاج المواد الأولية. - شركات التوصيل. - شركات الاشهار والاعلانات.
		<u>القنوات</u>	<u>الموارد الرئيسية:</u>	
		<ul style="list-style-type: none"> - توزيع مباشر، مراكز مواد البناء، متاجر متخصصة، شركات مع مطورين 	<ul style="list-style-type: none"> - التصميم 	
<u>المصادر والايادات :</u>		<u>هيكل التكاليف</u>		
<ul style="list-style-type: none"> - بيع الوحدات الجاهزة: بيع وحدات الواجهة مباشرة للعملاء، سواء كانوا مطورين أو مقاولين أو أفرادًا - استشارات تصميم: تقديم خدمات تصميم مخصصة للعملاء لمساعدتهم في استخدام الوحدات في مشاريعهم. - دورات تدريبية: تنظيم ورش عمل أو دورات تدريبية حول كيفية استخدام المواد المحلية بفعالية، بالإضافة إلى الفوائد البيئية. - شركات مع الشركات الهندسية: التعاون مع شركات التصميم والهندسة للحصول على إيرادات من المشاريع المشتركة. 		<ul style="list-style-type: none"> - تكلفة المواد الأولية - تكلفة اليد العاملة - كراء الأرض - تكلفة تهيئة المقر 		