

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abderrahmane Mira – Bejaia



Faculté de Technologie
Département d'Architecture



Thème :

Impact des façades végétalisées sur le confort thermique

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

Présenté par:

BENMOUHOU B Kenza

Encadré par :

Dr . KHADRAOUI Mohamed Amine

Année Universitaire 2020 – 2021

Dédicace

J'ai toujours pensé faire ou offrir quelque chose

À mes parents

*En signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont
consenti comme efforts, rien que pour me voir réussir, et
voilà, l'occasion est venue.*

*À ceux qui m'ont donné la vie, symbole de beauté, de
fierté, de sagesse et de patience à mes chers parents.*

Je dédie aussi ce travail à mes chers frères et mes sœurs.

À mes chères cousines.

À ma famille.

Merci pour votre soutien et votre encouragement

À toute personne qui m'aime

À toute personne que j'aime

À tous ceux qui cherchent le savoir

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU, notre créateur Pour nous avoir donné la force, la patience, la volonté et le courage de le mener à terme.

*Nous tenons à exprimer mes vifs remerciements et mon gratitude à mon encadrant M^{rs}**KHADRAOUI M.A** pour sa disponibilité, son aide précieux, son soutien tout au long de ce travail et ses conseils qui mon été très utiles.*

*Je tiens à exprimer notre profonde gratitude à M^{rs}**ALLOUACHE S** qui a conduit l'avancement de ce mémoire avec une haute compétence et une grande disponibilité. Veuillez accepter l'assurance de mon profond respect et mon sincère reconnaissance.*

Merci à toutes personnes ayant contribué de près ou de loin soit d'un soutien moral ou pratique durant la réalisation de ce travail.

Résumé :

La façade est un élément de bâtiment très important, elle représente la partie verticale de son enveloppe qui sépare les ambiances intérieures et extérieures. Ce dispositif présente plusieurs types selon sa composition et son fonctionnement. La façade végétalisée c'est l'une de ces types qui présente un système passif pris en considération comme une solution face à la crise économique mondiale actuelle afin d'améliorer le confort thermique et minimiser la consommation énergétique de bâtiment.

Pour ce faire, la recherche est adaptée à une méthodologie qui aborde l'étude empirique (prise de mesure in situ) dans le but d'étudier le comportement thermique d'un bâtiment sans façade végétalisée. L'étude numérique est pour le but de comparer le comportement thermique et énergétique de différents types de façades à fin de savoir l'impact de la végétation sur la performance thermique et énergétique de bâtiment.

Par conclusion, les résultats obtenus ont confirmé que la présence de la végétation sur la façade extérieure de bâtiment offre plus de confort thermique intérieur pour les usagers et influe d'une manière positive sur la consommation énergétique de bâtiment.

Mots-clés : façade, confort thermique, végétation, consommation énergétique.

Abstract:

The facade is a very important building element, it presents the vertical part of the envelope which separates the interior and exterior environments. This device has several types depending on its composition and its operation. The green facade is one of these types presents a passive system considered as a solution to the current global economic to improve thermal comfort and minimize building energy consumption.

To do this, the research is adapted to a methodology that addresses the empirical study (taking measurements in situ) in order to study the thermal behavior of a building without a green facade. The digital study is for the purpose of compare the thermal and energy behavior of different types of facades in order to know the impact of vegetation on the thermal and energy performance of building.

In conclusion, the results obtained confirmed that the presence of vegetation on the exterior facade of building offers more interior thermal comfort for users and has a positive influence on the building's energy consumptions.

Keywords: facade, thermal comfort, vegetation, energy consumption.

تلخيص:

تعد الواجهة عنصرًا مهمًا في البناء، فهي تمثل الجزء الرئيسي من غلافه الخارجي الذي يفصل بين البيئات الداخلية والخارجية. ولهذا الجهاز عدة أنواع حسب تركيبه وعمله. الواجهة الخضراء هي أحد هذه الأنواع التي لديها عدة مميزات، والتي تعتبر كحل للأزمة الاقتصادية العالمية الحالية من أجل تحسين الراحة الحرارية وتقليل استهلاك المبنى للطاقة.

وللقيام بذلك، تم تكييف البحث مع منهجية الدراسة التجريبية (أخذ القياسات في الموقع) بهدف دراسة السلوك الحراري لمبنى بدون واجهة خضراء، أما الدراسة الرقمية فهي بهدف مقارنة الحرارة والرطوبة. سلوك الطاقة لأنواع مختلفة من الواجهات لمعرفة تأثير الغطاء النباتي على الأداء الحراري والطاقة للمباني.

وفي الختام أكدت النتائج التي تم الحصول عليها أن وجود الغطاء النباتي على الواجهة الخارجية للمبنى يوفر المزيد من الراحة الحرارية الداخلية للمستخدمين وله تأثير إيجابي على استهلاك الطاقة للمبنى.

الكلمات المفتاحية:

واجهة، راحة حرارية، النبات، استهلاك الطاقة.

Table des matières :

| | |
|-------------------------|----|
| Dédicace..... | 2 |
| Remerciement | 3 |
| Résumé | 4 |
| Abstract..... | 4 |
| تلخيص..... | 5 |
| Table de matière..... | 6 |
| Liste des figures..... | 10 |
| Liste des tableaux..... | 13 |

CHAPITRE INTRODUCTIF

| | |
|---|----|
| 1. Introduction: | 15 |
| 2. Problématique: | 16 |
| 3. Hypothèses :..... | 17 |
| 4. Contexte et objectifs de la recherche :..... | 17 |
| 5. Méthodologie de recherche :..... | 17 |
| 6. Analyse conceptuelle de la recherche :..... | 18 |
| 7. structure de mémoire..... | 19 |

PREMIERE PARTIE :

LA PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 1: l'impact de la végétation sur le confort thermique de bâtiment

| | |
|--|----|
| Introduction :..... | 22 |
| 1.1 Définition :..... | 22 |
| 1.2 Les modes de transfert de chaleur.. .. | 23 |
| 1.2.1 Le transfert de chaleur par conduction . .. | 23 |
| 1.2.2 Le transfert de chaleur par convection . .. | 23 |
| 1.2.3 Le transfert de chaleur par rayonnement. | 23 |
| 1.3 Les facteurs influent sur le confort thermique | 24 |

| | | |
|-------|--|----|
| 1.3.1 | Les facteurs liés à l'environnement..... | 24 |
| 1.3.2 | Les facteurs liés à l'individu | 25 |
| 1.3.3 | Les facteurs liés à la conception | 26 |
| 1.3.4 | L'Albédo..... | 29 |
| 1.3.5 | L'inertie thermique..... | 30 |
| 1.4 | La végétation..... | 31 |
| | . Les types de la végétation : | 31 |
| 1.5 | .Choix des végétaux selon l'orientation :..... | 36 |
| | Conclusion :..... | 37 |

CHAPITRE 2: l'impact de la végétation sur le confort thermique de bâtiment

| | | |
|-------|---|----|
| | Introduction :..... | 39 |
| 2.1 | l'enveloppe architecturale : | 39 |
| 2.2 | végétation des éléments de l'enveloppe architecturale | 40 |
| 2.2.1 | les toitures végétalisées :..... | 41 |
| 2.2.2 | les façades végétalisées: | 42 |
| | définition | 42 |
| | les types de la façade végétalisée | 42 |
| | composition de mur végétale..... | 47 |
| | composition de mur végétale vert | 47 |
| | la composition de mur végétale vivant..... | 48 |
| | la fonction de la façade végétalisée..... | 49 |
| | le role de la façade végétalisée dans la consommation énérgitique | 50 |
| | conclusion: | 50 |

DEUXIEME PARTIE :

LA PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE 3: l'étude empirique

| | |
|--|----|
| Introduction | 52 |
| 3.1. Les données climatiques de la ville de Bejaia :..... | 52 |
| 3.2. Présentation de cas d'étude. | 53 |
| 3.2.1 Fiche technique de la crèche. | 53 |
| 3.2.2 Situation | 54 |
| 3.2.3 plan de masse de la crèche | 54 |
| 3.2.4 L'enseillement | 55 |
| 3.2.5 Les espaces étudiant | 56 |
| 3.2.6 Les façades | 57 |
| 3.2.7 Les masques solaires | 59 |
| 3.2.7 La composition des parois de la crèche | 59 |
| 3.3 Le protocole des prises des mesures | 60 |
| 3.4 L'appareil de prise de mesure | 61 |
| 3.5 Résultats de l'étude quantitative et interprétation :..... | 61 |
| 3.5.1 La salle de classe | 61 |
| 3.5.2 La salle des jeux | 63 |
| 3.6 les recommandations | 64 |
| Conclusion :..... | 65 |

CHAPITRE 4: l'étude numérique

| | |
|---|----|
| Introduction :..... | 67 |
| 4.1 Présentation de logiciel de la simulation | 67 |
| 4.1 Présentation de logiciel de la simulation ArchiWiZARD | 67 |
| 4.3 Présentation de modèle numérique la simulation | 68 |

| | |
|--|----|
| 4.4 Résultats obtenus de la simulation de modèle mur sans végétation | 69 |
| 4.4.1 Résultats des besoins énergétiques..... | 70 |
| 4.4.2 Les résultats de la température intérieure | 73 |
| 4.4.3 Les résultats des déperditions thermiques | 76 |
| Conclusion | 79 |
| Conclusion générale | 80 |
| bibliographie..... | 82 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure1: schéma de l'analyse conceptuelle..... | 18 |
| Figure 2 : structure de mémoire..... | 20 |
| Figure1.1: les modes de transfert de chaleur..... | 23 |
| Figure 1.2 : les principaux paramètres influent sur le confort thermique dans le bâtiment..... | 24 |
| Figure 1.3 : l'effet de la température des parois et de l'air sur le confort thermique..... | 25 |
| Figure 1.4 : production de la chaleur en fonction de l'activité..... | 26 |
| Figure 1.5 : présentation des différentes orientations de bâtiments..... | 27 |
| Figure 1.6 : l'implantation d'une conception | 27 |
| Figure 1.7 : distribution, organisation et orientation des espaces..... | 28 |
| Figure 1.8 : trois modèles de bâtiments de forme de volume différents avec la même surface habitable..... | 29 |
| Figure1.9 : bâtiment avec toiture végétale..... | 31 |
| Figure 1.10 : maison individuel avec façade végétalisée..... | 31 |
| Figure 1.11: la pelouse..... | 32 |
| Figure 1.12 : la prairie..... | 32 |
| Figure1.13 : les haies..... | 33 |
| Figure 1.14 : les arbres..... | 33 |
| Figure 1.15 : vrilles..... | 34 |
| Figure 1.16: Crampsons..... | 35 |
| Figure 1.17 : tiges volubiles..... | 35 |
| Figure 1.18 : plantes grimpantes volubile sur terrasse et pergola..... | 36 |
| Figure 2.1 : exemple des toitures végétalisées..... | 40 |
| Figure 2.2 : Composition de la toiture végétalisée..... | 41 |
| Figure 2.3 : exemple des façades végétalisée | 42 |

| | |
|--|----|
| Figure 2.4 : bâtiment avec une façade végétalisée verte directe à droite représentation de l'implantation directe de la végétation sur un mur | 43 |
| Figure 2.5 : l'implantation directe de la végétation sur un mur..... | 43 |
| Figure 2.6 : bâtiment avec une façade végétalisée verte indirecte | 44 |
| Figure 2.7 : représentation de l'implantation sur un mur végétalisé d'une manière indirect.. | 44 |
| Figure 2.8 les types de mur végétale..... | 45 |
| Figure 2.9 : les composants des différents murs végétale..... | 46 |
| Figure 2.10 : les composants de la façade végétalisée..... | 47 |
| Figure 2.11 : les composants d'un mur végétale vivant..... | 48 |
| Figure 3.1 : photos sur l'entrée principale à la crèche le Paradis des anges..... | 51 |
| Figure 3.2 : vue aérienne de la crèche Paradis D'ange..... | 52 |
| Figure 3.3: plan de mass de la crèche le paradis des anges..... | 53 |
| Figure 3.4: l'ensoleillement de la crèche..... | 53 |
| Figure 3.5 : vue intérieur sur de la des jeux | 54 |
| Figure 3.6 : vue sur plan de la des jeux | 54 |
| Figure 3.7 : vue intérieur de la salle de classe | 55 |
| Figure 3.8 : vue sur plan de la salle de classe..... | 55 |
| Figure 3.9 : photo prise de l'extérieur de la crèche montre les masques solaires..... | 57 |
| Figure 3.10 : la composition des parois de cas d'étude..... | 58 |
| Figure 3.11 : l'instrument de prise de mesure..... | 59 |
| Figure 3.12: graphe de température ambiante et extérieur mesurée le 03/06/2021..... | 60 |
| Figure 3.13: graphe de température ambiante et extérieur mesurée le 30/06/2021..... | 61 |
| Figure 4.1: création de géométrie modèle étudié..... | 65 |
| Figure 4.2: logiciel ArchiWizard 2017..... | 66 |
| Figure 4.3: les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement dans le modèle Msv (mur sans végétation)..... | 68 |

| | |
|--|----|
| Figure 4.4 :les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement dans le modèle Mvd (mur avec végétation directe)..... | 69 |
| Figure 4.5 :les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement dans le modèle Mvi (mur avec végétation indirecte)..... | 70 |
| Figure 4.6 :graphe de température intérieure de modèle Msv (mur sans végétation)..... | 71 |
| Figure 4.7 :graphe de température intérieure de modèle Mvd (mur avec végétation directe)..... | 72 |
| Figure 4.8 :graphe de température intérieure de modèle Mvi (mur avec végétation indirecte)..... | 73 |
| Figure 4.9 :les déperditions thermiques (mur sans végétation)..... | 74 |
| Figure 4.10 :les déperditions thermiques (mur avec végétation direct)..... | 75 |
| Figure 4.11 :les déperditions thermiques (mur avec végétation indirecte..... | 76 |

Liste des tableaux :

| | |
|---|----|
| Tableau1.1: comparaison des surfaces d'échange des trois modèles de bâtiments proposés | 29 |
| Tableau1.2: les types de la végétation selon l'orientation..... | 37 |
| Tableau3.1: les éléments de la façade de la crèche Paradis d'Ange..... | 56 |
| Tableau3.2: les caractéristiques thermique des matériaux utilisés dans la composition des parois de cas d'étude..... | 58 |
| Tableau3.3: les résultats des prises de mesures in situ dans la salle de classe..... | 59 |
| Tableau3.4: les résultats des prises de mesures in situ dans la salle de classe..... | 61 |
| Tableau4.1 : les différents composants des parois des modèles de la simulation étudié..... | 67 |
| Tableau4.2: Les caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la simulation..... | 67 |

Chapitre introductif

1. Introduction :

Le monde actuellement souffre de plusieurs problèmes : économiques, sociaux, politiques et même environnementaux.

Depuis le début des années 1990, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective, la notion de développement durable est professionnelle plus que quotidienne touche chaque individu tant sur le plan professionnel que familial.

Gros consommateurs d'énergie et producteurs de gaz à effet de serre, le secteur du bâtiment offre des possibilités suffisamment fortes pour anticiper le changement climatique et faire face aux défis énergétiques contemporains. (Djedjig, 2013)

La conception architecturale a suivi récemment une nouvelle démarche qui vise à minimiser la consommation énergétique et renforcer le développement durable dans les bâtiments, afin d'offrir les exigences et les besoins de la génération présente, tout on prend en considération les besoins des futures. (CMED, 1987)

Dans l'architecture de bâtiment la façade est une partie importante avec laquelle se caractérise d'un autre bâtiment, et c'est un élément de la ville et de son architecture. C'est le lieu de transition entre deux espaces contradictoires, espace intérieur (lieu d'action) et l'espace extérieur (figure de la forme urbaine). Pour cela durant la conception il faut penser à créer des façades qui offrent le confort intérieur (particulièrement le confort thermique) et l'esthétique extérieure. Les conditions climatiques et économiques aujourd'hui fait l'exigence de pensée aussi à la performance énergétique de bâtiments tout on rajoutant des façades qui consomment un minimum d'énergie et qui s'adapte au développement durable.

Après la végétation de la toiture, la végétale vise aujourd'hui de plus en plus la façade (mur verticale), cela considérer comme une solution efficace surtout dans les zone urbanisées qui détruit petit à petit la biodiversité et l'exigence de changement climatique à offrir un aménagement ingénieux et efficace de ces zones.

La présence de la végétation dans le bâtiment commence à documentée comme une correction humaine environnementale dans les zones urbains. Depuis déjà plusieurs années, les architectes et aménagistes de tous horizons ont réalisé que les bâtiments pouvaient recevoir la végétation là où la surface au sol était restreinte. (Dunette et Bury, 2008)

L'implantation des plantes sur les toits et les murs sont de plus en plus intégrées dès la phase de la conception et de la construction, tandis que des supports allégés et des matériaux modernes facilitent leurs diffusions progressives à l'ensemble des projets, de construction neuve comme de réhabilitation.

2. PROBLÉMATIQUE :

Depuis des années, la plus part des pays de monde ont focalisé sur le développement durable comme un modèle pour leur développement, C'est une solution pour régler les différents problèmes écologiques représentés par : le changement climatique, les épuisements des ressources et la dégradation de la biodiversité...

Dans un contexte architectural de développement urbain durable, les toitures et les façades végétales, de typologies variées ont un potentiel considérable pour répondre à la problématique de l'écologie. La solution n'est pas nouvelle, les terrasses plantées et les jardins suspendus existent depuis l'antiquité. (Dunnett et Bury, 2008). Mais la pratique des façades végétales sur le bâtiment est encore timide dans la plupart des villes, dont l'Algérie fait partie.

En effet l'Algérie possède aussi de suivre le développement durable comme modèle de son développement, elle prit conscience pour envisager une nouvelle stratégie pour minimisé la consommation énergétique et gérer durablement ces ressources. De cette conscience l'adaptation du concept de la façade végétalisée par indispensable.

La façade végétalisée a plusieurs avantages sur le bâtiment, la ville et l'individu. Ces bénéfices sont ressentis sur le domaine public et privé.

Le végétale quel que soit sa forme, son type ou son emplacement, il influence l'environnement thermique, la qualité de l'air et l'environnement sonore de bâtiment. Et aussi il peut agir sur les ambiances intérieures, il s'agit donc de rendre compte du rôle de régulation des ambiances intérieures par la végétation à la fois sous l'angle des économies d'énergie et du confort du l'individu. (Benhalilou, 2008).

Dans cette étude on va vérifier l'impact de la végétation de la façade (la façade végétalisée) sur le confort thermique de bâtiment et ont va mettre le doigt aussi sur son influence sur l'esthétique de bâtiment. Pour ce but ont va poser les questions suivantes :

1. **Quel est l'impact de la façade végétalisée sur le confort thermique dans le bâtiment ?**
2. **Est-ce que la façade végétalisée peut influencer aussi sur la consommation énergétique du bâtiment ?**

3. Hypothèses :

Afin de répondre à la problématique mise en perspective, les hypothèses suivantes ont été proposées :

- il semble que les façades végétalisées ont un impact positif sur le confort thermique dans le bâtiment.
- cette disposition peut influencer aussi sur la consommation énergétique de bâtiment.

4. Contexte et objectifs de la recherche :

Cette recherche déroule sur la façade végétalisée, plus précisément l'impact de cette disposition sur le confort thermique dans le bâtiment et son rôle sur l'esthétique extérieure. La ville de Bejaia est choisie comme un cas d'étude qui se caractérise par un climat de type méditerranéen, les températures sont adoucies sur le littoral (hiver doux, été chaud).

L'objectif de ce travail vise à :

- ✓ Savoir l'impact de la façade végétalisée sur le confort thermique dans le bâtiment.
- ✓ Minimiser la consommation énergétique dans le bâtiment et le développement durable.
- ✓ Amélioration de la qualité des façades de bâtiments et de la figure de la ville en générale.
- ✓ Intégrait des nouveaux aspects de l'esthétique extérieure dans la construction.

5. Méthodologie de recherche :

Afin de répondre à ces objectifs, l'étude s'est attelée à confirmer ou affirmer aux hypothèses précédente à travers une structuration de travail qui va s'articuler autour deux partie: **Une partie théorique :**

Dans le but de rassembler le maximum d'informations, d'idées et de données sur le sujet, mon travail est basé sur une recherche bibliographique dirigé vers la lecture et la consultation des ouvrages, mémoire, article, les différents sites internet traitant le sujet.

Partie pratique :

Dans cette partie pratique, on va adoptés pour la méthode empirique pour étudier l'impact de la façade végétalisée sur le confort thermique à l'intérieure des bâtiments qui contient des façades végétales.

Pour mieux comprendre et clarifier les résultats on opte pour la simulation numérique à l'aide des logiciels de simulation thermique.

6. Analyse conceptuelle de la recherche :

L'analyse conceptuelle de la recherche a permis de concrétiser les concepts soulignés dans les hypothèses et en vue les transformer a des phénomènes mesurables qui se présentent :

- Les façades végétalisées ont un impact important sur le confort thermique dans le bâtiment à travers les quatre saisons.
- La façade végétalisée à un impact sur l'esthétique extérieure de bâtiment.

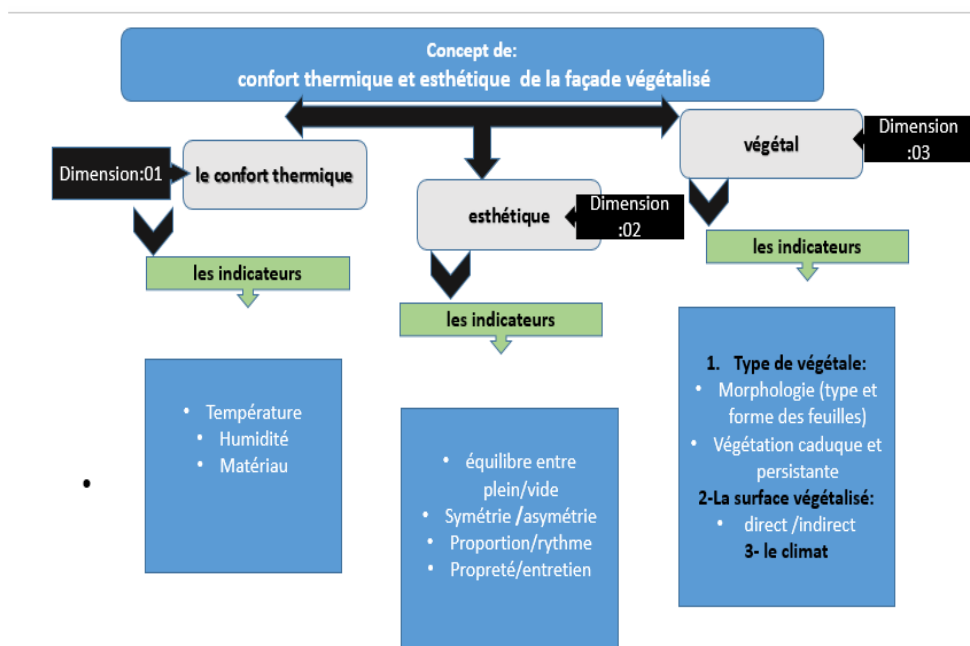


Figure 1 : schéma de l'analyse conceptuelle (source: Auteur, 2021)

7. Structure de mémoire :

Pour mieux aborder ce travail de recherche, je procède premièrement à proposer le corpus théorique de ma recherche et de définir la problématique sur laquelle le travail sera déroulée. Par la suite je choisis une méthodologie d'évaluation tout en proposons une démarche privilégié.

Le contenu de mon travail comporte une partie introductive, les chapitres, une conclusion et une bibliographique. Ce plan structuré comme suit :

Chapitre introductif :

Il contient de l'introduction générale qui résume le sujet traité, accompagné par la problématique et les hypothèses de la recherche, puis il présente l'analyse conceptuelle, décrit la méthodologie abordé et en fin il expose la structure de mémoire.

Premier chapitre : composé de deux partie : la première partie abordé la notion de confort thermique et les différents paramètres qui l'influe .Dans la seconde il a souligné le paramètre de la végétation qui a un impact important sur le confort thermique de bâtiment, il

Deuxième chapitre : définit la composition de l'enveloppe architecturale et les différents parties qui peut être végétalisée, ensuite il a met le point sur le thème de la recherche qui est la façade végétalisée et son impact sur le confort thermique de bâtiment.

Troisième chapitre : présente l'étude empirique, définit en premier le contexte climatique l'étude puis il a décrit le cas d'étude et le protocole de prise de mesure. Il a évalué qualitativement l'impact de la façade existant dans le cas d'étude sur son confort thermique intérieur.

Quatrième chapitre : consacré à l'étude numérique, en premier il définit le logiciel de la simulation puis décrire les modèles représenté pour la simulation ensuite il a analysé les résultats obtenus dans le but de savoir l'impact de la façade végétalisée sur le confort thermique et la consommation énergétique.

Enfinement le mémoire est finalisé par une **conclusion générale** qui résume les étapes de cette recherche et déduire les réponses de la problématique posé.

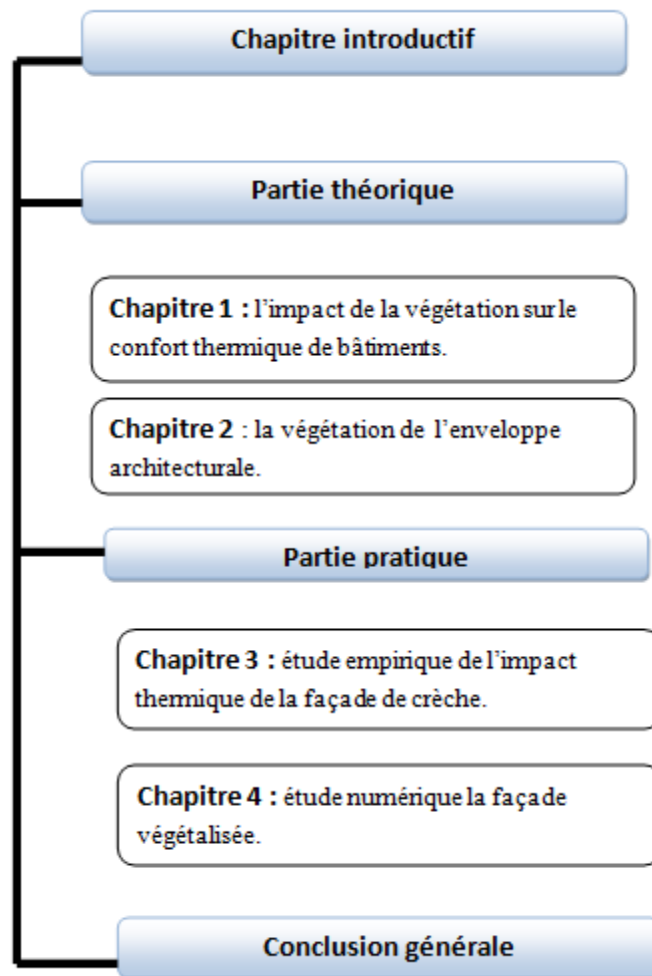


Figure 2 : structure de mémoire (source : Auteur, 2021)

Chapitre 1 : l'impact de la végétation sur le confort thermique de bâtiment

Introduction :

Le confort d'une manière générale est un paramètre très important qu'indique la qualité de bâtiment et plus précisément le confort thermique, puisque c'est le premier paramètre qui indique la qualité des ambiances intérieures et le taux de la présence de confort générale dans l'espace.

Le confort thermique dans l'architecture est met en réflexion depuis la programmation et l'esquisse de projet, l'enjeu actuelle des architectes ne se limite pas juste dans l'étude de confort dans les ambiances intérieurs mais de pensé aussi à la qualité d'énergie à fournir par les équipements d'ambiance intérieure à cause de la crise énergétique mondiale, c'est-à-dire de crée le confort dans la construction d'une manière passif et tout en minimisant la consommation énergétique de bâtiment.

Selon Lavigne, le confort en général est un sentiment de bien-être et de satisfaction des usagers qui est en relation avec les déferents domaines physique, physiologique et psychologique, et chaque type de confort dépend de plusieurs facteurs parlent des facteurs liés à environnement, les facteurs liés à l'individu et les facteurs liés à la conception.

Le présent chapitre est consacré à la présentation de concept de confort thermique et les déferents paramètres qui l'influent cité si dessus.

1.1 Définition :

Le confort thermique est exprimé, c'est l'état d'équilibre de changement thermique entre le corps et l'environnement thermique.

Selon Benhalilo (2008) qu'a cité que A.S.H.R.A.E (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) on définit le confort thermique : « c'est l'état de satisfaction des usagers vis-à-vis de l'environnement thermique, il est conditionné par plusieurs paramètres à savoir : la température de l'air, l'humidité de l'air, les précipitations, la pression atmosphérique et la nébulosité. Ces paramètres sont liés au climat et leur combinaison influe sur le confort thermique de l'individu et sur l'usage de l'espace ».

Le confort thermique est une notion très compliqué vu de la variation et le grand nombre des facteurs qui l'influe et à cause aussi de son caractère subjectif.

1.2 Les modes de transfert de chaleur :

C'est un phénomène qui se produit entre deux corps qui sont à une température différente. Le transfert se produit d'une façon que la chaleur se déplace du corps le plus chaud vers le corps le moins chaud jusqu'à ce que les deux aient une température équivalente. (Benhalilo, 2008)

Le transfert de chaleur se fait de trois manières différentes : par conduction, convection et par rayonnement.

1.2.1 Le transfert de chaleur par conduction :

Le transfert de chaleur par conduction est une transmission de chaleur d'un corps à un autre sans déplacement de la matière. (Benhalilou, 2008)

La conduction se définit donc que c'est une transmission de chaleur par contact direct et la chaleur se déplace d'une manière naturelle de l'élément le plus chaud vers le moins chaud, cette chaleur qui se propage est proportionnelle à la conductivité thermique du matériau et la différence de température des deux éléments.

1.2.2 Le transfert de chaleur par convection :

Le transfert de chaleur par convection c'est un transfert entre deux corps l'un d'un état solide vers un autre corps d'un état gazeux, se déplace dépend de la différence de la température entre éléments et la vitesse de l'air et la surface de contact.

1.2.3 Le transfert de chaleur par rayonnement:

Le transfert de chaleur par rayonnement est un mode de transfert qui s'effectue sans la présence d'aucun intermédiaire, le transfert donc se produit par des ondes électromagnétiques.

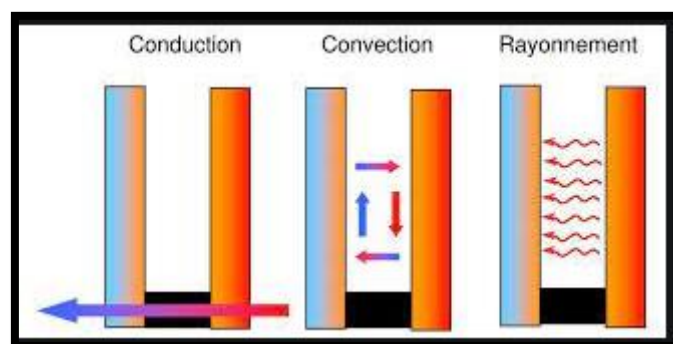


Figure 1.1 : les modes de transfert de chaleur (source :Bard et De Herbe,2005)

1.3 . Les facteurs influent sur le confort thermique :

L'assurance de confort thermique dans l'espace relié généralement à trois facteurs principale : l'environnement, l'individu et la conception.

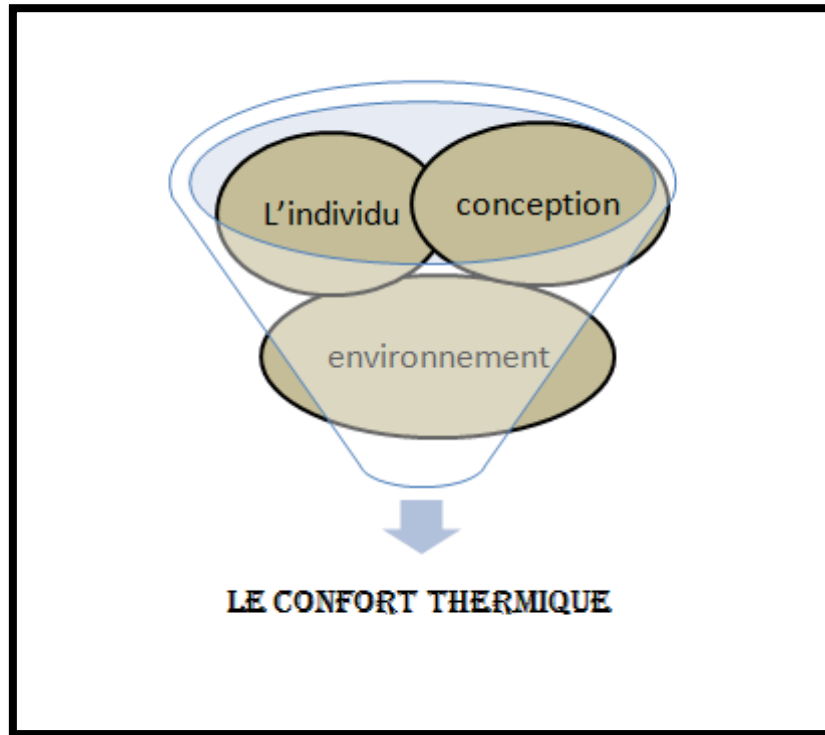


Figure1.2 : les principaux paramètres influent sur le confort thermique dans le bâtiment

(Source : auteur, 2021)

1.3.1 Les facteurs liés à l'environnement:

Les facteurs liés à l'environnement ce sont des paramètres qui sont en relation avec :

- **.La température de l'air ambiante (T_a) :**

La température de l'air ambiante (T_a) c'est la valeur de la température dans l'air du milieu ambiant, elle présente les températures préférées pour les endroits fermés c'est le critère le plus influent sur le confort des occupants (Benhalilo, 2008).

- **. La température des parois (T_p) :**

La température des parois c'est la température moyenne de toutes les parois internes, l'influence de ce paramètre sur le confort intérieure est conditionnée par l'effet de la paroi chaude ou la paroi froide (Liébard et De Herbe, 2005).

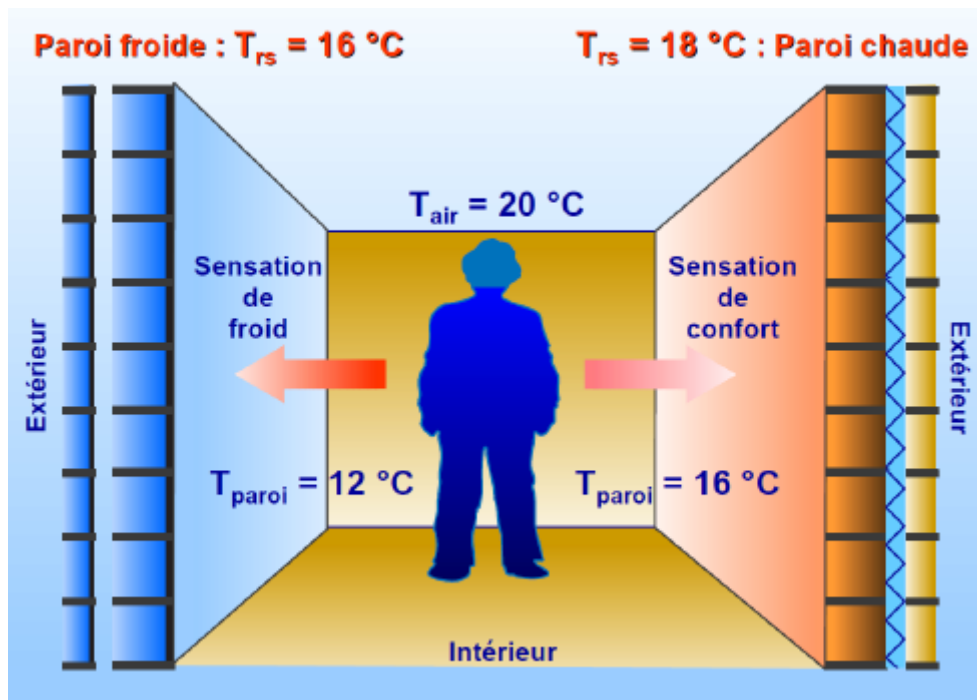


Figure 1.3 : l'effet de la température des parois et de l'air sur le confort thermique

(Source : bard et De Herbe, 2005)

- . L'humidité relative de l'air (HR):

L'humidité relative est définie que « c'est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température ». (

Selon Benhalilo (2008) l'humidité de l'air peut être exprimée comme la pression de la vapeur d'eau, dans le bâtiment elle influence d'une façon directe et indirecte sur le Corps des occupants, se qui peut crée de l'inconfort et la sensation de chaleur et de sécheresse des voie de respiration.

- . La vitesse de vent (Vair):

La vitesse de l'air influence les échanges de la chaleur par convection et par évaporation. Les échanges par convection entre la face extérieure des parois et l'air extérieur sont relié d'une façon directe avec la vitesse de l'air.

1.3.2 .Les facteurs liés à l'individu :

Les facteurs liés à l'individu c'est les facteurs qui ont la relation avec les usagers, on cite :

❖ L'habillement (la tenue vestimentaire):

L'habillement c'est une deuxième barrière thermique après la peau, représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement . (

Il influence sur les échanges de chaleur par convection ,dans le cas de rechauffemnt ce produit une certain évaporation .

L'influence de l'habillement sur le confort thermique du corps humaine est liés à des paramètres internes (la couleur et la perméabilité à l'air des vetement) et externes(l'humidité, vitesse de l'air et le métabolisme).

L'unité de mesure c'est « Clo » (l'unité de la résistance thermoque), ou $1 \text{ Clo} = ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2 / \text{W}$.

❖ Métabolisme (M) :

C'est la production de corps humaine d'énergie thermique dans le but de maintenir la température de corps au environ de $36,5^\circ\text{C}$. elle dépend de la physiologie l'individu (âge, poids, taille...) , et de son activité , le niveau de l'activité mesure en « MET »

$$1 \text{ MET} = 58 \text{ W/m}^2$$

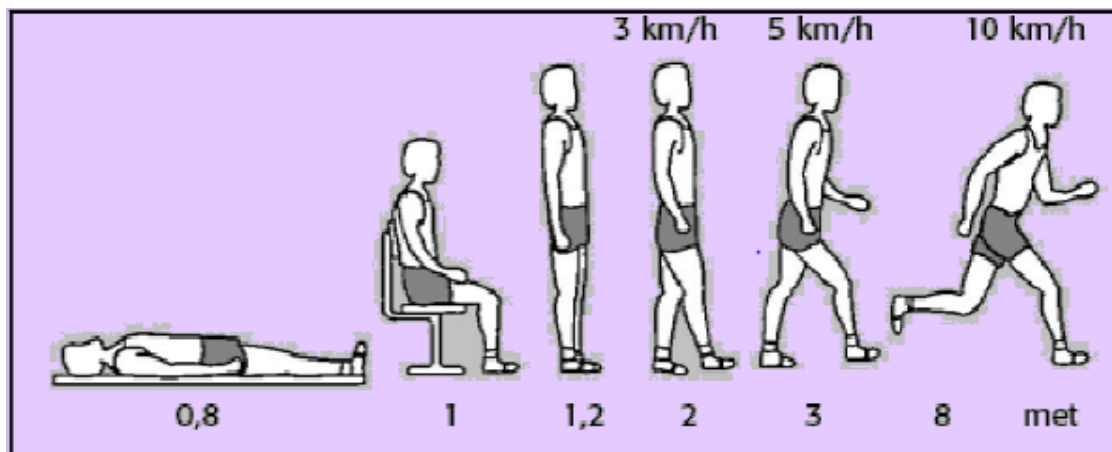


Figure 1.4: production de la chaleur en fonction de l'activité (source : Hamdaoui, sd)

1.3.3 Les facteurs liés à la conception :

L'enjeu de l'architecte pendant la conception c'est de mettre en place en priorité **des mesures passives** (c'est-à-dire non consommatrices d'énergie) pour favoriser le confort thermique des espaces en toutes saison sans consommer beaucoup d'énergie :

❖ L'orientation :

L'orientation des façades d'un bâtiment est un paramètre très important dans le confort thermique, il est conditionné par l'ensoleillement disponible, la pression du vent et l'humidité de l'air.

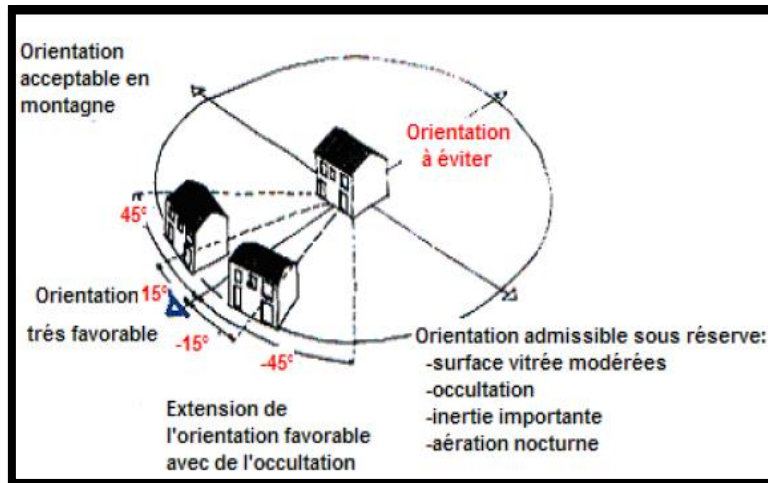


Figure 1.5 : présentation des différents orientation de bâtiments (source :Hamdaoui,sd)

❖ L'implantation :

L'implantation d'un édifice est une étape très importante dans l'architecture, pour avoir une meilleure implantation il est recommandé de connaître l'énergie solaire reçu sur l'enveloppe de bâtiment à tout moment, le relief environnant, la course annuelle de soleil que de l'orientation et les vents dominants, ces paramètres influent sur les ambiances thermique intérieure de bâtiments.

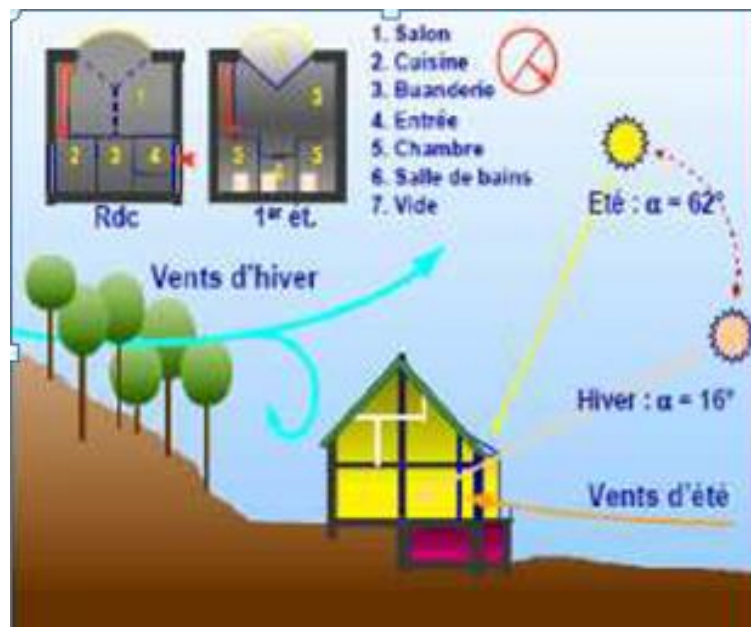


Figure 1.6 : l'implantation d'une conception (source : Guerram et Louafi, 2017).

❖ la distribution intérieurs :

La notion de zonage dans le bâtiment permet de combiner entre les ambiances thermique appropriée à l'occupant et l'utilisation des différents espaces.

Au nord il est recommandé d'aménager les espaces non chauffés qui s'appelle « **les espaces tampons** » (garages, couloir...).

Au sud il est conseillé d'aménager les espaces d'activité pendant la journée (séjour, salle à manger ...), l'ensoleillement est maximale en hiver et minimale en été se qui donne en résultats un confort thermique rechercher.

A l'Est l'exposition au soleil est faible pendant l'hiver et important pendant l'été, aménagement des espaces tempéré d'occultation solaire (bureau, chambre, atelier, salle de bains...).

A l'ouest dans cette orientation c'est de préférable d'aménager les espace tampons et les espaces tempérés peu ou non chauffé et espace de travail (chambre, salle de jeux, escalier, débarras...), il est recommandé de ne pas utilisé des grandes fenêtres vitrées.

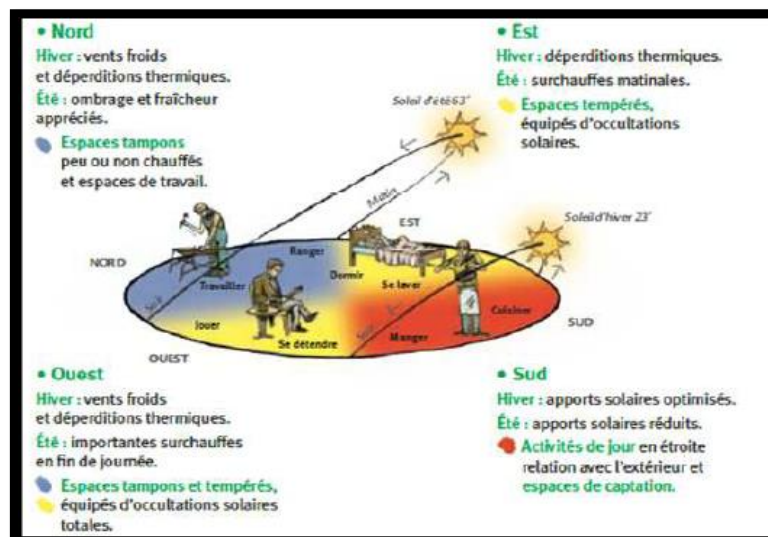


Figure 1.7 : distribution, organisation et orientation des espaces (source : Guerram et Louafi ,2017).

❖ **Forme et volume de bâtiment :**

L'amélioration de l'isolation d'un bâtiment est conditionné par la réduction le plus possible de sa surface d'échange et de contact avec l'environnement extérieure.

L'exemple ci-dessus explique cette notion. Un exemple de trois modèles de bâtiments ayant la même surface habitable et représentés à la même échelle.

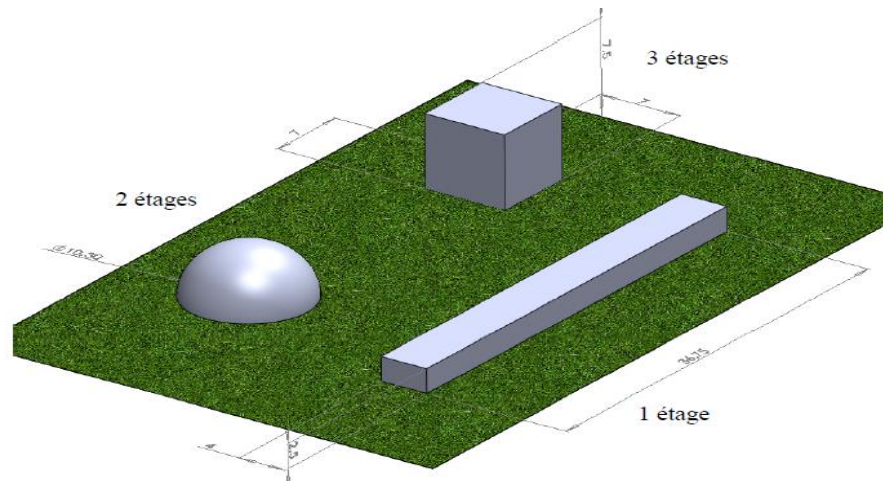


Figure 1.8 : trois modèles de bâtiments de forme de volume différents avec la même surface habitable (source : FC et all, 2016)

Le tableau (1.1) ci-dessous montre les surfaces d'échanges des modèles des trois modèles représenté dans la figure (1.7).

Tableau 1.1 : comparaison des surfaces d'échange des trois modèles de bâtiments proposés (source : FC et all, 2016)

| Bâtiment | Nbre d'étages | Dimensions | | | Surface habitable | Surface d'échange |
|-------------|---------------|------------|-------------|-----------|--------------------|--------------------|
| | | l = 4 m | L = 36,75 m | H = 2,5 m | | |
| En longueur | 1 | | | | 147 m ² | 334 m ² |
| Cubique | 3 | L = 7 m | | H = 7,5 m | 147 m ² | 242 m ² |
| Dôme | 2 | D = 10,3 m | | | 147 m ² | 167 m ² |

D'une manière générale plus le bâtiment ramassé et compacté plus sa surface d'échange thermique sera réduite.

❖ . Le choix des matériaux :

Le choix des matériaux utilisés dans la construction influe directement sur la qualité de confort qu'on aura à l'intérieur de se bâtiment.

Ce choix se fait en fonction de se qu'est disponible dans le marché à proximité, et celui qui sont particulièrement adapté au climat .il est recommandé d'utiliser des matériaux naturels (bois, pierre, terre chaux..).

1.3.4 .l'albédo :

Albédo est définit que c'est le rapport de l'énergie globalement réfléchié et diffusée par une surface paraport à l'énergie **incidente** (source : Benhalilou, 2008).

C'est aussi représente indirectement la mesure de l'énergie abordée par une surface.

1.3.5 .l'inertie thermique :

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à conserver sa température (le stockage thermique). Il participe à l'efficacité énergétique d'un bâtiment, il a deux atouts lors de sa présence dans une construction :

- Sa capacité à stocker l'énergie pour la récupérer pendant les besoins.
- Sa capacité à limiter les hausses de température en été.

1.3.6 . Le type de l'enveloppe extérieure :

Le type de l'enveloppe extérieure de bâtiment c'est le responsable sur la qualité de confort intérieur.

- **. L'enveloppe opaque :**

Ce type d'enveloppe se compose de parois opaques, ces parois reçoivent des flux d'énergie solaire une partie seulement de cette énergie est absorbée par l'épiderme puis transmise et l'autre partie sera rendue au milieu extérieur. (Bonhomme, 1986).

- **. L'enveloppe légère :**

Ce type d'enveloppe constitue des composants légers qui ne participent pas à la structure et qui ont une résistance thermique faible, les surfaces vitrées ont des propriétés de transmettre totalement le rayonnement visible, se qui conduit à des surchauffes en été et des refroidissements en hiver (Benhalilo, 2008), pour cela il faut réfléchir bien sur la composition de l'enveloppe pour assurer un confort thermique idéal pour les occupants.

- **. L'enveloppe végétalisée (la végétation de l'enveloppe de bâtiment) :**

Ce type d'enveloppe vise à concevoir des bâtiments durables et écologiques qui permettent de construire avec avantage (le premier but c'est d'assurer le confort thermique intérieure de bâtiment, le deuxième but c'est de respecter l'environnement et minimiser la consommation énergétique).

L'enveloppe végétalisée sert à protéger la construction à travers la végétation, qui travaille à la réduction de la température et au rafraîchissement qui est résultat de l'évaporation de l'eau qu'elle transpire.

Le bâtiment peut subir la végétation dans les différents composants de son enveloppe on trouve :

❖ la toiture végétalisée :



Figure1.9 : bâtiment beaurautique avec toiture végétale.(source :Med et Fuchs,2009)

❖ la façade végétalisée



Figure 1.10 : maison individuel avec façade végétalisée. (Source : Med et Fuchs,2009)

1.4 La végétation :

La végétation est un élément vivant, terme origine latin « vegetatio » qui désigne l'ensemble des végétaux qui poussent et qui se réunis d'une manière naturelle ou par l'homme en un même lieu, dans un site particulier (Cros et Guyot, 1984 ; Zglinski, 2018), elle se compose en deux types :

La végétation **naturelle** : composée de plantes sauvage ou spontanées c'est le type qui se pousse d'une manière naturelle dans l'espace. (Zglinski, 2018)

La végétation **artificialisée** : se type ce compose de plantes cultivées.

1.4.1 . Les types de la végétation :

Il existe plusieurs types de la végétation sur lesquelles on peut les trouver dans la nature ou dans des espaces spéciale végétalisées on cite : la pelouse, la prairie, les haies, les arbres, les plantes grimpantes.

❖ . La pelouse :

Est un tapis étendu plus au moins régulier. (Benhalilo, 2008)



Figure 1.11 : la pelouse (source : Meddour, 2017)

❖ . La prairie :

Est un écosystème en grande partie dépourvue d'arbre, couverte de végétation basse continue.



Figure 1.12 : la prairie (source : Meddour, 2017)

❖ . Les haies :

C'est des écrans de verdure destinés à protéger et limiter elle peut être taillé ou libre.



Figure 1.13 : les haies (source : Meddour ,2017)

❖ . Les arbres :

Sont représentés sous forme de plantes à fleurs ligneuses qui est utilisée pour l'alignement (plantation sur voie), ou pour les limites diverses ...

Ce type de plante se développe sur tous types de sol, ce sont classifiés selon trois critères : la dimension, la densité et la forme.



Figure 1.14 : les arbres. (Source : Meddour, 2017)

❖ . Les plantes grimpantes :

C'est tous les végétaux qui peut s'élevé verticalement soit en **s'appuyant**, en **s'accrochant** ou en **s'enroulant** sur ou autour d'un support .elles peuvent pousser le long des murs, des clôtures et autres structure ou des fois il y a des cas ou elles poussent sur d'autres plantes.

Les plantes grimpantes peuvent se distinguer en fonction de leurs **modes d'attaches** ou de **fixation** :

❖ . Plantes grimpantes à vrilles :

c'est des plantes grimpantes dont les tiges s'accrochent à un support au moyen de vrilles (clématite, vigne, les rosiers) (source : Med et Fuchs, 2009)



Figure 1.15 : vrilles (source : Med et Fuchs, 2009)

❖ . Plantes grimpantes à palisser :

à l'état libre, **sans support** elles se développent en de larges buissons, alors que sur un espalier elles peuvent se déployer et pousser en hauteur (les rosiers et les Jasmine d'hivers) (

❖ . Plantes grimpantes à crampons :

elle **ne nécessite pas** de support pour se développer en hauteur, comme par exemple le lierre, le fusain, le jasmin de virginie ... (Zglinski,2018 ; Benhalilo,2008).



Figure 1.16 s: Crampsons (lierre) (source : Med et Fuchs, 2009)

❖ . **Plantes grimpantes volubiles :**

c'est des plantes grimpantes qui s'enroulent autour des supports et conviennent particulièrement aux pergolas (la glycine, aristoloche siphon, bignone à grandes fleurs, volubilis, vigne vierge à cinq feuille)(Benhalilo,2008).



Figure 1.17 : tiges volubiles (source : Med et Fuchs, 2009)

La figure (1.18) ci- dessous représente la végétation de plantes grimpantes de type volubile sur terrasse et pergola.



Figure 1.18: plantes grimpantes volubile sur terrasse et pergola (source : Meddour, 2017)

- **. La végétation persistante :**

Dite aussi sempervirentes c'est des végétaux avec feuillage qui reste toujours vert elle garde ses feuilles tout au long de l'année, ce qui permet une protection annuelle. Ce type est utilisé dans les régions chaudes et sèches.

- **. La végétation caduque :**

C'est les végétaux contient des feuilles qui tombe chaque année par opposition des feuilles persistantes, elles perdent leurs feuilles en automne et sont nus pendant le moins les plus froid de l'année, ce qui permet au soleil de traverser et de chauffer le bâtiment pendant cette période. Donc c'est une végétation qui pousse au printemps, protéger en été et perd ses feuilles à l'automne et en hiver ce qui procure un ombrage saisonnier.

Ces végétaux sont recommandés dans les régions de climat semi-arides. (Benhalilo, 2008)

1.5. Choix des végétaux selon l'orientation :

L'implantation de la végétation dans le bâtiment exige de prendre en considération plusieurs paramètres permet eux le choix de type de la végétation selon l'orientation de la partie à végétalisée.

Le tableau ci-dessous représente les types de la végétation selon l'orientation de bâtiment.

Tableau1.2 : les types de la végétation selon l'orientation (source : auteur, 2021)

| Orientation | Type de la végétation | Le rôle |
|--------------------|--|---|
| Nord | <ul style="list-style-type: none"> • Les plantes persistantes (arbres, haies, peupliers, cyprès de Provence, lierre...). | <ul style="list-style-type: none"> • Assurant un effet brise-vent. |
| Sud | <ul style="list-style-type: none"> • Les plantes à feuilles caduques. • Les plantes grimpantes (vigne, vigne vierge à cinq feuilles, volubilis, jasmin de virginie, glycine...) | <ul style="list-style-type: none"> • Permettre au soleil d'hiver de chauffer passivement le bâtiment. • Offrant une protection solaire pendant l'été. |
| Est | <ul style="list-style-type: none"> • Les plantes persistantes | <ul style="list-style-type: none"> • Peuvent être traité en tant que mur ouest au sud. |
| Ouest | <ul style="list-style-type: none"> • Les plantes grimpantes (figuier grimpants, lierre commun de bois, lierre des canaries...) | <ul style="list-style-type: none"> • Offrant une isolation thermique en hiver et en été. |

Conclusion :

Le confort thermique c'est les conditions dans lesquelles on ne peut dire si il fait chaud ou froid vis-à-vis à l'environnement,

Cette notion de dépend de plusieurs paramètres on trouve des paramètres liés à l'environnement, à l'individu et à la conception. Pour arriver à ce confort, on s'appuie sur des moyens artificiel et consommateur de l'énergie comme les climatiseurs, les chauffages...etc. Comme on peut aussi utiliser des moyens naturels et plus écologique et même non consommateur d'énergie qui doit répondre aussi à la crise énergétique actuelle et à la préservation de la nature, le meilleur exemple et solution c'est la végétation.

Chapitre 2 : la végétation de l'enveloppe architecturale

Introduction :

L'enveloppe architecturale d'un bâtiment représente un défi majeur pour les concepteurs. C'est l'élément qui permet de s'intégrer le bâtiment dans son environnement et de se démarquer et même de s'inscrire dans son époque.

Ce dispositif récemment est présenté par la végétation comme une solution conceptuelle pour profiter de confort thermique intérieure avec un minimum de la consommation énergétique, on trouve les toitures végétale, des murs intérieurs végétale et plus souvent on remarque la présence de la végétation sur les façades ce qu'on appelle les façades végétalisées ou aussi les façades vertes.

Dans ce présente chapitre va présenter l'enveloppe et ces composants d'une manière générale et va détailler sur les façades végétalisées qui est le thème de ce mémoire.

2.1. L'enveloppe architecturale :

L'enveloppe d'un bâtiment présente la partie visible de tout l'édifice, que ce soit à l'intérieure ou à l'extérieur, ça définition varie selon plusieurs aspects :

- **Pour les thermicien :**

C'est une partie de transition entre l'ambiance intérieure et un environnement extérieure.

- **Pour les architectes :**

C'est une zone de contact entre le bâtiment et la ville.

- **Pour les ingénieurs :**

C'est la zone de liaison entre des composants passifs et actifs.

- **Pour les occupants :**

Ces parois qui entourent le bâtiment c'est des éléments qui présentent le confort thermique, acoustique et visuel et c'est le facteur qui détermine l'esthétique de bâtiment.

L'enveloppe du bâtiment donc c'est une zone de jonction entre plusieurs facteurs, cette dispositif est responsable de confort intérieur de bâtiment et plus spécifiquement le confort thermique. De ce fait pour garantir le confort intérieur d'une manière passive dans le bâtiment les concepteurs opte pour la végétation de cette icône comme une solution c'est

pour cette raison qu'il est appaître les notions de la végétation de ces composante on trouve :

- ❖ Les toitures végétales
- ❖ La végétation intérieure
- ❖ Les façades végétalisées

2.2. Végétation des éléments de l'enveloppe de bâtiment :

Les concepteurs récemment intègre la végétation dans les différentes parties de l'enveloppe de bâtiment depuis la phase de la conception, on trouve le végétale dans : les toits, les façades et même dans les espaces intérieures.

2.2.1. Les toitures végétalisées :

. Définition :

La toiture végétale est un terme générique utilisé depuis la préhistoire pour désigner une plantation de végétation sur un toit plat ou à faible pente (la pente est limité généralement à 35° et au-delà on parle de mur végétalisée).



Figure 2.1 : exemple des toitures végétalisées (Djedjig, 2015)



Figure 2.2 : exemple des toitures végétalisées (Djedjig, 2015)

Plusieurs termes distinctifs utilisés pour la toiture végétalisée mais leurs compositions sans différents on trouve : l'éco-toit, le toit vivant, le toit marron, le toit vert et la terrasse jardin.

- **L'éco-toit et le toit vivant :** sont des termes propres à des systèmes de végétation qui accomplissent un cycle de vie saisonnier tel que la dormance due à la chaleur ou au froid.
- **Le toit marron (Brown roof) :** est utilisé au Royaume-Uni où la terre récupérée des aménagements de sites urbains a été utilisée comme substrat de culture.
- **Le toit vert :** ce terme a deux significations : la première a un sens large qui comprend toutes les formes de toiture végétalisée, le second est spécifique aux toitures extensives.
- **Le toit terrasse :** désigne un jardin aménagé sur le toit d'un bâtiment.

- **Les types de la toiture végétale :**

La toiture végétalisée est classée selon l'épaisseur de la couche substrat en trois types : extensive, intensive, semi-intensive.

- **La composition de la toiture végétale :**

La toiture végétale est composée généralement d'un ensemble des éléments suivants :

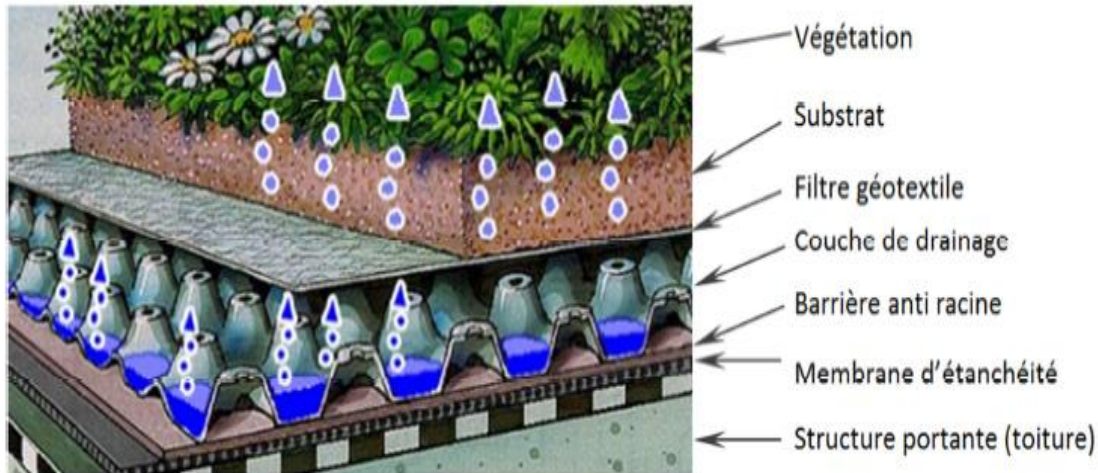


Figure2.3 : Composition de la toiture végétalisée (source : Djedjig, 2015)

2.2.2. Les façades végétalisées :

1. Définition :

La façade végétalisée dite aussi la façade vivante, respirante et jardin vertical. Cette façade est composée d'un mur végétal qui s'élève parallèlement au mur du bâtiment à protéger. C'est un système passif durable qui permet d'améliorer le confort et les ambiances thermique de la construction tout en minimisant la consommation énergétique. (Djedjig ,2013)

Selon l'orientation et la composition de ce mur de façade servir à la fois comme un élément d'esthétique et un écran contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, l'ensoleillement aussi même contre la pollution.

Ce dispositif est une prise en considération comme une solution face à la crise économique et écologique mondiale.



Figure 2.4 : exemple des façades végétalisée (source : ottelé et All, 2011)



Figure 2.5 : exemple des façades végétalisée (source : ottelé et All, 2011)

2- Les types de la façade végétalisée :

Il existe plusieurs types des façades végétalisées selon son implantation dans le bâtiment :

Façade verte :

Ce type de façade se compose des plantes grimpantes enraciné au sol ou cultivé dans des bancs placé en bas ou en haut (le cas de la végétation tombante) de mur. (Anne-Marie, 2011)

Ces plantes sont liées avec le bâtiment avec deux manières :

- **D'une manière directe :**

Cette manière permet de couvrir la façade sans avoir besoin de structure support



Figure 2.6 : bâtiment avec une façade végétalisée verte directe (source : Ottelé et all, 2011)

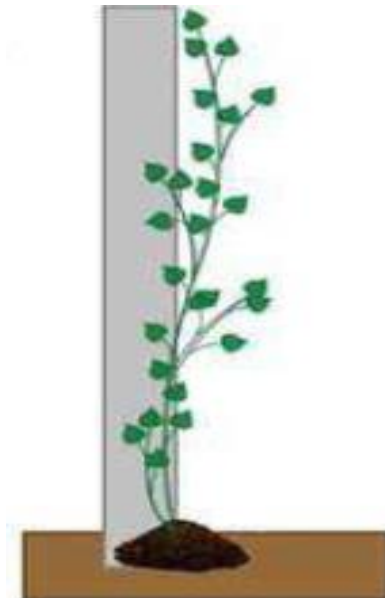


Figure 2.7 : représentation de l'implantation directe de la végétation sur un mur (source : Ottelé et all, 2011)

- **d'une manière indirecte :**

Ce type nécessite une structure de support se qui permet d'avoir une séparation entre le mur de base de bâtiment et la végétation par l'utilisation de treillis ou de filets



Figure 2.8 : bâtiment avec une façade végétalisée verte indirecte (source : Ottelé et all, 2011)

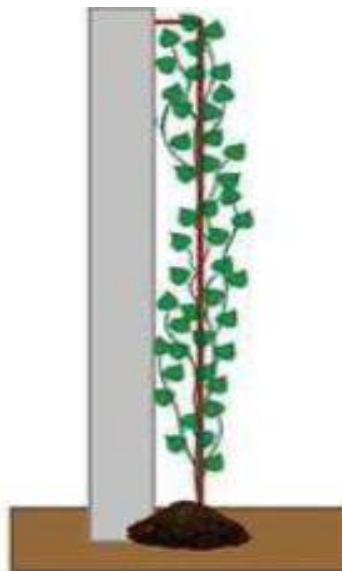


Figure 2.8 : représentation d'un mur avec végétation indirecte (source : Ottelé et all, 2011)

. Façade vivante :

- **Façade végétalisée à planter :**

Coloniser de nombreux espaces à faible coût et pour un entretien réduit. Les plantes peuvent prendre pied en pleine terre ou en bacs, suivant les besoins et les végétaux choisis. Nombre d'entre-elles nécessitent un support pour être guidées sur la façade.

- **Façade végétalisée modulée :**

Ce procédé d'aménagement hors sol se fait avec l'assemblage des bacs ou des cellules. Un maillage en acier galvanisé contient le substrat dans lequel se développeront les plantes. Les modules ensuite seront fixés sur une structure métallique verticale.

- **Façade végétalisée sur mesure :**

Se compose de végétaux à petit développement planter dans une nappe horticole (feutre très résistant dont les fibres retiennent l'humidité). L'arrosage enrichi en sel nutritifs, se fait par un système d'irrigation en circuit fermé.

| Systèmes | végétalisation sur mesure | végétalisation modulée | végétalisation à planter |
|---------------------|---|---|---|
| Structure | feutre dissocié du bâti, imprégné d'une solution nutritive, puis planté d'espèces adaptées aux conditions climatiques du site | éléments modulaires remplis de substrat et plantés en usine, assemblés sur chantier | structure construite sur mesure en usine, remplie et plantée sur chantier |
| Poids | 30 kg/m ² | 45 kg par m ² | variable suivant épaisseur |
| Consommation d'eau | non connue | 2 m ³ par m ² par an | 0,2 m ³ par m ² par an |
| Substrat ou support | feutre synthétique micro-percé | sphaigne ou laine de roche | mélange de tourbe, perlite, fibre de coco, pouzzolane |
| Épaisseur complexe | | 10 à 15 cm (y compris lame d'air 2 cm) | variable, optimum à 20 cm |
| Entretien | 2 tailles par an ; vérification des goutteurs et du minuteur, inspection du tissu de support, apport d'engrais régulier | 2 visites techniques de contrôle et d'entretien par an : désherbage non chimique, taille ; alarme téléphonique pour défaut d'irrigation | 2 visites techniques de contrôle et d'entretien par an : désherbage non chimique, taille ; alarme téléphonique pour défaut d'irrigation |

Figure 2.9 : les types de mur végétale. (source : Martin, 2015)

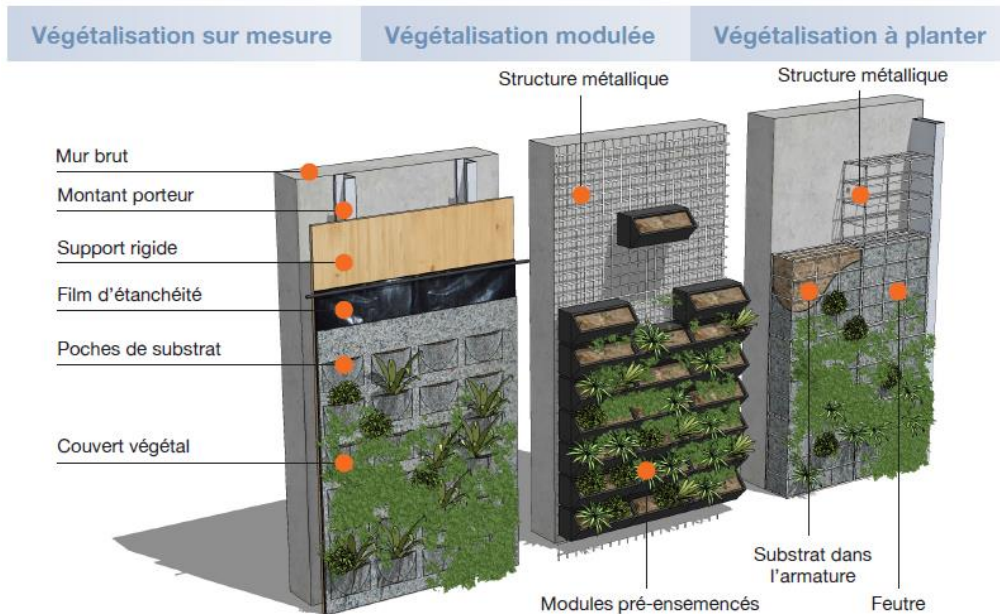


Figure 2.10: les composants des différents murs végétale. (source : Martin, 2015)

3- La Composition de mur végétale :

La composition de mur végétale de l'extérieur vers l'intérieur se compose de :

.la composition de mur végétale vert :

La couche de végétation : Se compose généralement de la végétation de type caduc ou persistant.

La structure de soutènement : On trouve plusieurs types exemple : des lattes de bois, de treillis, des câbles en acier ou des cordes en plastique pour supporter les racines et à fin d'éviter d'endommager le mur et assurer la stabilité des plantes grimpantes sur le mur.

La couche d'air :

Le mur extérieur : il se caractérise selon son type de matériau : brique, béton...etc.

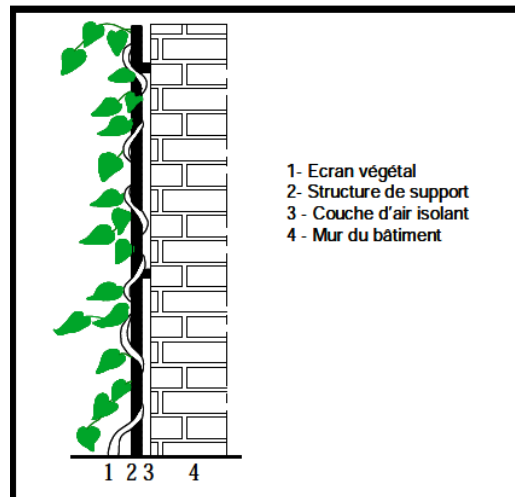


Figure2.11 : les composants de la façade végétalisée (source : Benhalilo, 2008)

. La composition de mur végétale vivant :

la composition de mur végétale vivant est différente par rapport au mur végétale vert, la figure(2.9)représente les différents composant de ce dispositif.

1. Mur porteur (support)
2. Vide ventilé
3. Structure primaire / treillis métallique
4. Fixation
5. (Bac métallique)
6. Substrat
7. Collecteur / drain en pied de mur
8. Végétation
9. Système d'irrigation / intrants

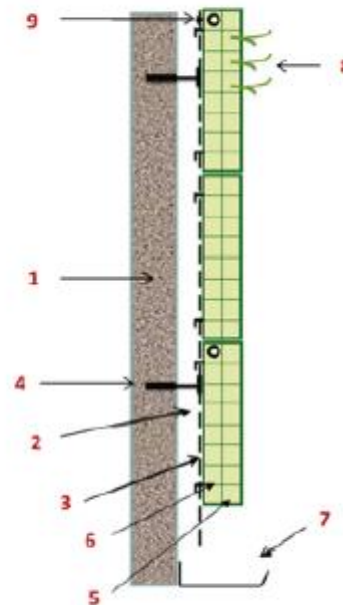


Figure2.12: les composants d'un mur végétale vivant.(source : Martin ,2015)

4- La fonction de la façade végétalisée :

La façade en tant que composant majeur d'un bâtiment il à plusieurs fonctions on cite :

La fonction isolant :

La fonction principale de la façade végétalisée c'est l'isolation, cette fonction est présente dans plusieurs paramètres on cite :

Isolation thermique :

Les plantes grimpantes implanter sur la façade d'un bâtiment sert à réduire les amplitudes thermiques journalières de 50% et ce grâce à l'ombre qu'elles fournissent au bâtiment (Dunette et Kingsbury, 2005)

Empêchant la chaleur d'entre dans le bâtiment par protection des murs contre le soleil ces plantes sont bien plus efficaces que n'importe quel procédé mécanique incorporé à la construction la consommation énergétique baisse à 50% jusqu'à 70% sur la facture de climatisation, et une baisse de température de 5,5°C.

le phénomène de l'évapotranspiration commun à l'ensemble des végétaux , en absorbe une partie de l'humidité des précipitation en la transpirant , les végétaux refroidissent leurs propres feuilles et ainsi l'air ambiant .

Isolation acoustique :

Une couche végétale ne vont pas seulement avoir des qualités thermiques mais une densité supplémentaire aux murs de bâtiment et renforce l'isolation acoustique. Elle permet d'avoir le sentiment plus calme et de bien être dans la construction .Les végétaux absorbes les ondes sonores et exténuent le bruit extérieur.

La fonction écologique :

En plus des qualités **d'isolation de la maison** citées précédemment, un **mur végétal** ne va pas se limiter à de simples performances thermiques ou acoustiques ; il va également apporter un changement de taille en améliorant la qualité de l'air. Un environnement composé de plantes vertes a une quantité de poussières réduite d'environ 20 %. La photosynthèse de ces mêmes plantes va contribuer à produire davantage d'oxygène et à réduire la présence de gaz carbonique (à l'instar du dioxyde de carbone), purifiant alors l'air respiré par les occupants du bâtiment.

Le rôle de la façade végétalisée dans la conservation de l'énergie :

Dans les zones froides, la présence de la végétation sur la façade a une capacité d'abaisser la vitesse du vent. Les régions avec un climat froid le vent diminue l'efficacité énergétique de 50%. Des études réalisées ont démontré que la végétation des façades réduit le facteur de vent froid de 75% et le besoin de chauffage diminue de 25%. (Benhalilo, 2008)

Conclusion :

La végétation de l'enveloppe du bâtiment présente une solution technique et architecturale qui aide à réduire la demande énergétique et de créer des ambiances intérieures confortables pour les occupants.

Cette végétation peut se trouver dans les différentes parties de l'enveloppe de haut en bas, de l'extérieur vers l'intérieur, récemment les concepteurs développent la végétation de la partie de la façade de bâtiment (la surface verticale extérieure).

Cette diapositive est une solution passive à intégrer dans le bâtiment à fin de créer un espace intérieur confortable et un espace extérieur esthétique avec un minimum d'énergie.

Chapitre 3 : Étude empirique

Introduction :

La façade de bâtiment est un élément très important qui influe sur la qualité générale de l'espace intérieur et beaucoup plus sur la qualité de confort thermique. Cette influence se varie en fonction de type de façade (la composition de la paroi, la relation plein-vide, la texture...) .Pour mieux comprendre chaque phénomène étudié il est recommandé de faire de différentes études qui aident à maîtriser plus les informations donner, dans ce cas l'étude empirique est indispensable pour vérifier.

3.1. Les données climatiques de la ville de Bejaia :

Le climat de Bejaïa est de type méditerranéen, les températures sont adoucies sur le littorale (hiver doux, été chaud), en été, les températures moyennes journalières varient entre 16,3 et 28°C ; par contre en hiver elle varie entre 7,2 et 16,8°C.

Les vents :

Les vents dominants sont de direction ouest, ils soufflent en hiver et en automne. Par contre en été elle reçoit des brises marines qui sont de direction Est.

L'humidité : la région est caractérisée par un taux d'humidité très élevé, les taux maximums varient entre 89.2 % au mois de juillet et 93,9% au mois d'avril, les maximums des humidités varient entre 48,8%au mois d'octobre et 55,2% au mois de mai.

La pluviométrie :

Les variant ions des précipitations moyennes dans la région de Bejaïa, les pluies se produisent essentiellement depuis le mois d'Octobre au mois d'avril pendant 114 jours environ avec une moyenne de 670 à 1000 Mm par an.

3.2. Présentation de cas d'étude :

Le cas d'étude de la recherche c'est la crèche le Paradis des Anges situé à Bejaia.

3.2.1 Fiche technique de la crèche :

Surface de terrain =829.14m².

Surface habitable=540.13m².

Surface utile=540m².

La crèche accueil des enfants selon les tranches d'âge suivantes :

La petite section : 3-15mois ; 15-2ans ; 2-2ans et demi.

La moyenne section : 3-3ans et demi.

La grande section : 4-4ans et demi ; 4ans et demi-5ans.

Nombre de salle de classe : 07.

Nombre des dortoirs : 04.

Nombre d'accès : 02.



Figure 3.1 :photos sur l'entrée principale à la crèche le Paradis des anges.(source :Auteur,2021)

3.2.2 Situation :

La crèche le paradis des anges située à Edimco dans la wilaya de Bejaia, elle se trouve derrière le marché frais qui donne sur la rue Boumedaoui Nacer.



Figure 3.2 : vue aérienne de la crèche Paradis D'ange. (Source : google maps)

3.2.3 Plan de masse de la crèche :

La crèche elle est de forme irrégulière entourée de la végétation dans le côté sud, la figure ci-dessous représente la vue en plan de masse de la crèche Paradis d'Ange.

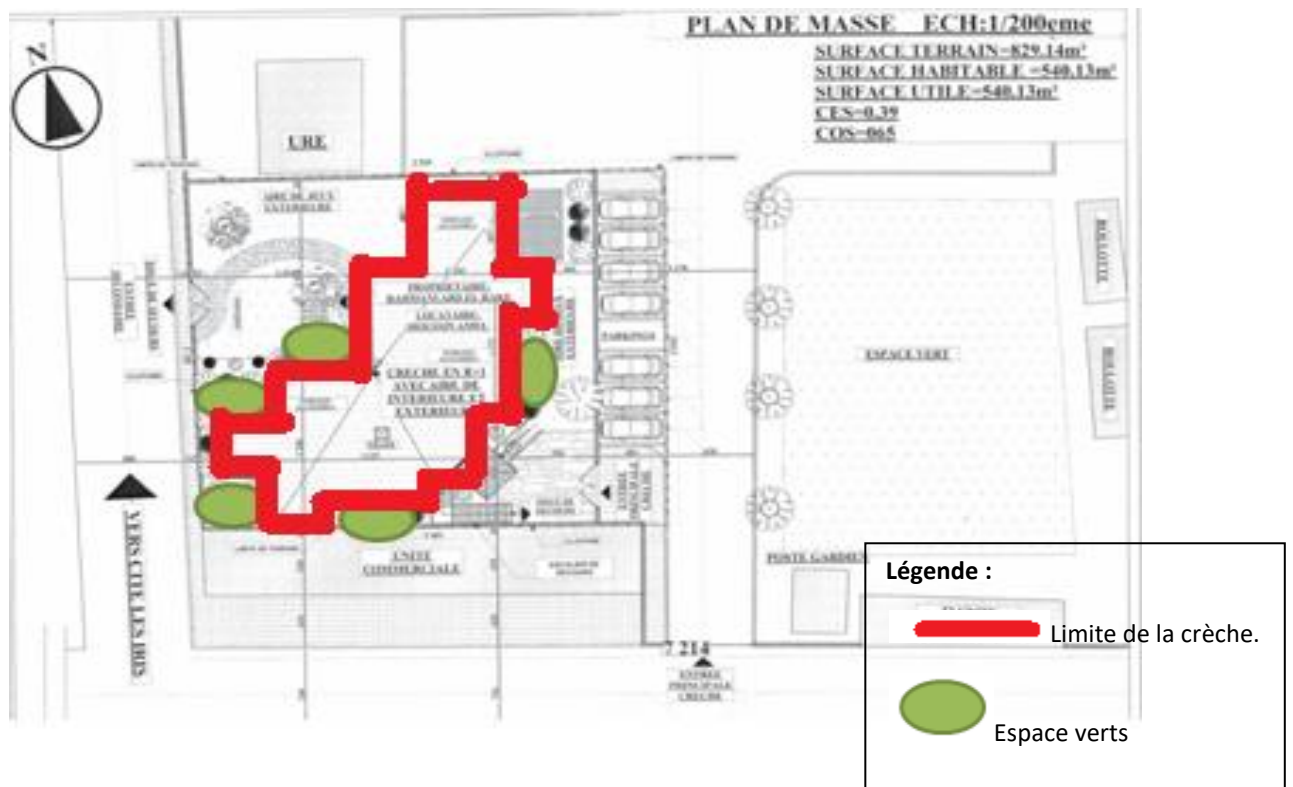


Figure 3.3 : plan de mass de la crèche le paradis des anges. (Source : administration de la crèche Paradis D’ange)

3.2.4 L’enseillement :

La crèche est bien ensoleillée, elle est orientée vers le sud.



Figure 3.4 : l’enseillement de la crèche (source : sunearth Tools, 2021)

3.2.5 Les espaces étudiant :

J'ai pris deux espaces dans la crèche comme des cas d'étude pour les prises de mesure qui sont la salle de classe et la salle des jeux, ils sont choisis au temps que des espaces clé de la crèche.

la salle des jeux :

La salle des jeux c'est l'espace où l'enfant passe la majorité de son temps pendant sa présence dans la crèche.

La salle des jeux de la crèche le Paradis D'ange est composée de deux parties et orienté vers l'est, elle a une porte qui donne directement sur l'espace de jeux extérieur.



Figure 3.5: vue intérieur de la salle des jeux. (Source : auteur, 2021)

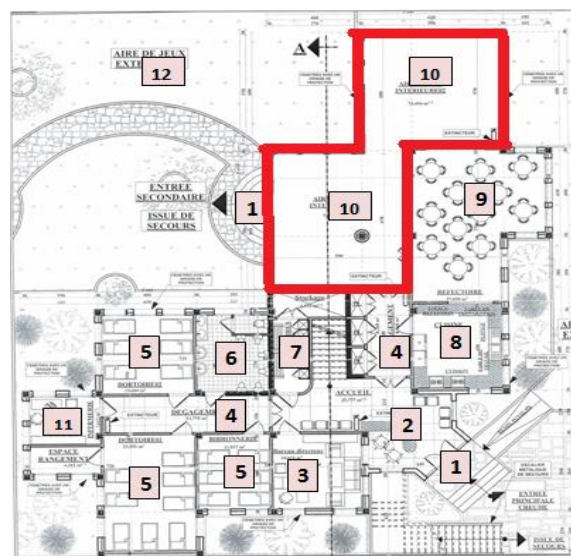


Figure 3.6: vue sur plan de la des jeux (source : administration de la crèche)

la salle de classe :

La salle de classe est l'espace d'apprentissage pour de l'enfant, cet espace est orienté dans notre crèche vers le Sud il a une seul façade sur l'extérieur.



Figure 3.7 : vue sur plan de la salle de classe (source : administration de la crèche).



Figure 3.8: vue intérieur de la salle de classe (source : auteur, 2021)

3.2.6 Les façades :

La crèche est composée de trois façades, la façade principale est orientée vers le ouest elle est caractérisée par des éléments qui sont représenté dans le tableau ci-dessous.

Le tableau3.1 : les éléments de la façade de la crèche Paradis d’Ange (source :Auteur,2021)

| Les éléments de la façade | description | Image |
|---------------------------|---|--|
| Type des ouvertures | Des fenêtres simples de dimension (0.9×1.40m). |  |
| Revêtement | Enduit de ciment de 2 cm avec une texture rose. |  |
| La protection scolaire | Brise solaire en béton. |  |

| | | |
|----------|-----------------------------------|--|
| Sécurité | Présence de gréage de protection. |  |
|----------|-----------------------------------|--|

3.2.7 Les masques solaires :

la présence de la végétation dans la partie sud et sud ouest qu'est de type arbre avec un feuillage caduque qui aide à protéger la crèche pendant l'été contre les rayonnement solaire et de profiter de ce dernier pendant l'hiver .



Figure 3.9 : photo prise de l'extérieur de la crèche montre les masques solaire (source : auteur, 2021)

3.2.7 La composition des parois de la crèche :

La façade de la crèche conçu avec un seul type de parois c'est le type ordinaire qui est utilisé couramment dans la construction à Bejaia il compose de :

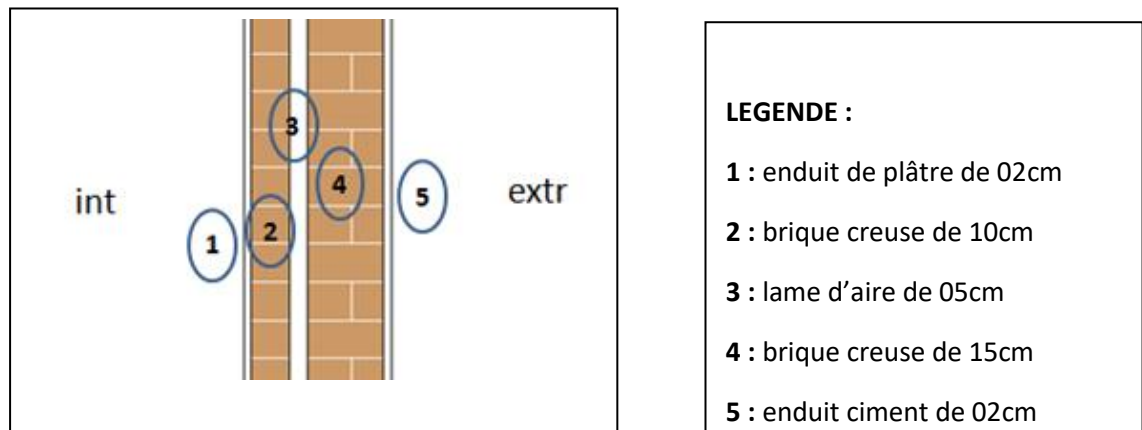


Figure 3.10 : la composition des parois de cas d'étude. (Source : Auteur, 2021)

Le comportement thermique de la façade est relié aux les caractéristiques physiques des matériaux utilisés, le tableau ci-dessous représente les caractéristiques physique des matériaux utilisés dans les parois extérieur des cas d'étude.

Tableau 3.2 : les caractéristiques thermique des matériaux utilisés dans la composition des parois de cas d'étude. (Source : D.T.R.C3-2,1997)

| | Épaisseur (cm) | Conductivité thermique (W/m.k) | Densité (kg/m ³) |
|-------------------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|
| Brique creuse | 15-10 | 0.48 | 900 |
| Enduit de plâtre | 2 | 0.35 | 1150 |
| Enduit de ciment | 2 | 1.4 | 2200 |
| Lame d'air | 5 | 0.047 | 1 |

3.3 Le protocole des prises des mesures :

Les mesures sont faites pendant la journée 02/06/2021 au sein de la crèche, j'ai pris l'air de jeux intérieur qui se trouve au niveau de RDC et une salle de classe au niveau de l'étage comme cas d'étude.

Le protocole adapté identifié à des mesures de 8h-16h, j'ai choisi cette période puisque c'est la période d'occupation de la crèche dans des conditions naturelles (sans climatisations), les paramètres mesurés sont :

- La température ambiante
- La température extérieure

3.4 L'appareil de prise de mesure :

L'instrument utilisé pour la prise de mesure « indoor thermometer with hygrometer », c'est un appareil qui combine les fonctions de thermomètre et hygromètre, pour plus de praticité et de lisibilité .il y a un écran qui affiche la température et le taux d'humidité relative dans un espace.



Figure 3.11 : l'instrument de prise de mesure (source : <https://www.amazon.fr/thermometre-hygrometre>)

3.5 Résultats de l'étude quantitative et interprétation :

Les résultats des prises de mesures obtenus sur terrain sont représenté comme suit :

3.5.1 La salle de classe :

Les résultats obtenus par la prise de mesure sont représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3.3 : les résultats des prises de mesures in situ dans la salle de classe. (source : Auteur, 2021)

| Température Heure | Température intérieure (°C) | Température ambiante | Température extérieur (°C) |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 8h-10h | 22.2 | | 24.3 |
| 10h-12h | 24.8 | | 26.8 |
| 12h-14h | 27.2 | | 30.4 |
| 14h-16h | 28.7 | | 31.1 |

Les résultats obtenus dans le tableau ci-dessus sont converti sous forme de graphe représenté dans la figure ci-dessous.

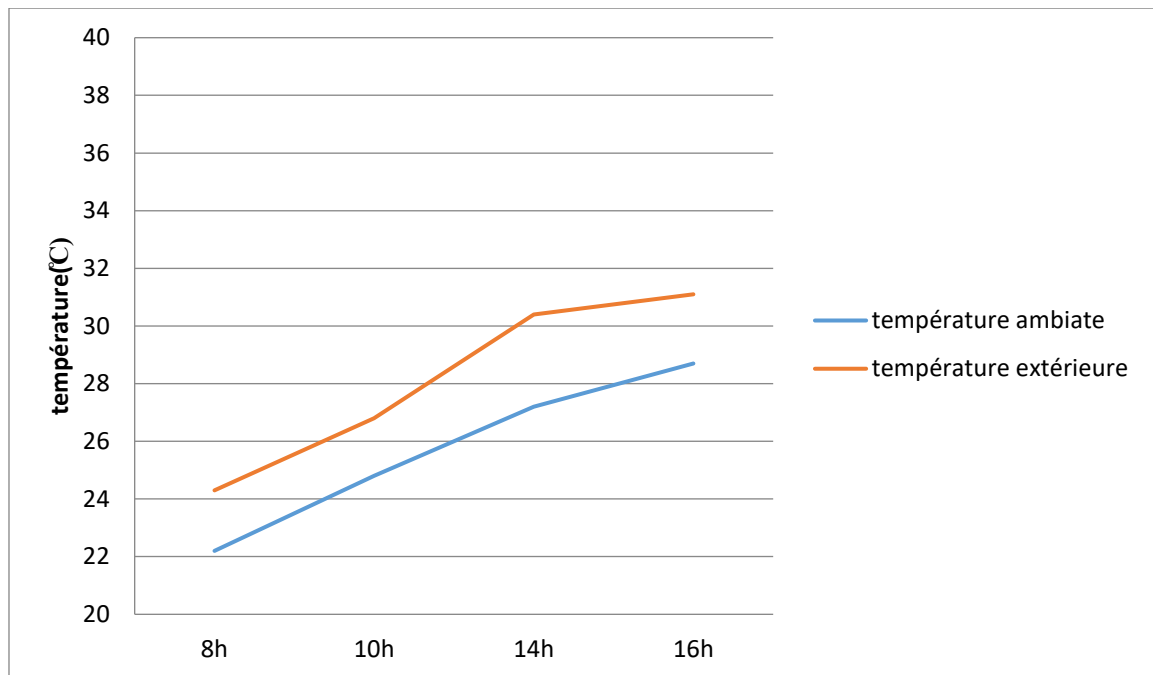


Figure 3.12 : graphe de température ambiante et extérieur mesurée le 03/06/2021 (source : auteur, 2021)

Le graphe de la température ambiante augmente d'une manière constante, on remarque que ces valeurs sont élevées d'une manière plus rapide pendant la période de la matinée on constate que à 8h on a 22.2°C et à 14h la température ambiante c'est 27°C puis la température augmente d'une façon moins rapide à 16 h on trouve la température c'est 28.7.

La température extérieure de la salle de classe augmente du même rythme que la température ambiante, et on remarque que la différence entre la température extérieure et la température ambiante varié approximativement entre 2 et 3°C ce qui détermine que il y a pas vraiment une grande différence entre l'espace intérieur et l'environnement extérieure.

Ces résultats montre que la salle de classe est en température de l'inconfort (les résultats ne convient pas la plage de confort)

3.5.2 La salle des jeux :

Les résultats de prise de mesure dans la salle de jeux sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3.4: les résultats des prises de mesures in situ dans la salle de classe. (source : Auteur, 2021)

| Heure | Température intérieure (°C) | Température ambiante | Température extérieure (°C) |
|---------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 8h-10h | 22.4 | | 23.5 |
| 10h-12h | 24.1 | | 26.8 |
| 12h-14h | 29 | | 30.4 |
| 14h-16h | 29.6 | | 31.1 |

Les résultats de tableau sont convertis sous forme de graphe représenté dans la figure ci-dessous :

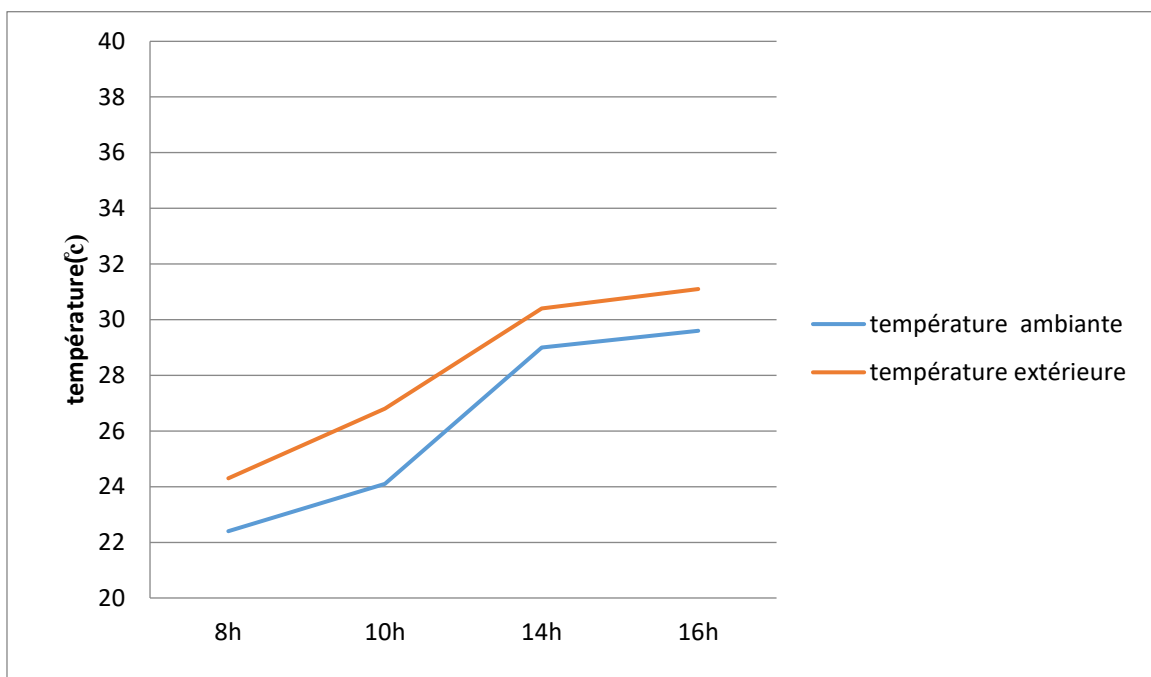


Figure 3.13 : graphe de température ambiante et extérieure mesurée le 30/06/2021 (source : auteur, 2021)

Le graphe de la température ambiante dans la salle des jeux de la crèche représente une augmentation continue de la température pendant toute la durée de la simulation (de 8h -16h).

Cette augmentation est constatée qu'elle est divisée en deux parties selon la vitesse de la variation. Durant 8h-14h la température est augmenté plus que le reste de la durée, à 8h on a $T=22.4^{\circ}\text{C}$ et à 14h $T= 29^{\circ}\text{C}$ à cause de l'orientation est de la salle des jeux, et la température ambiante à 16h elle est 29.6°C . Donc la température à l'intérieur de la salle de classe elle est inconfortable à partir de 10h (la température est au dessus de la plage de confort) et la température entre 14h-16h la température atteindre son maximum.

La température extérieure de la salle des jeux issue une évolution de même rythme comme la température extérieure, et d'après les résultats j'ai remarqué qu'il n'y a pas une grande différence entre la température extérieure et la température intérieure de la salle des jeux à 8h la température intérieure 22.4°C et la température extérieure 23.5°C , à 10h à l'intérieur $T=24.1^{\circ}\text{C}$ et à l'extérieur $T=26.8^{\circ}\text{C}$.donc on déduit que la différence elle est entre $1-3^{\circ}\text{C}$ le maximum entre l'intérieur et l'extérieur donc on conclut que l'enveloppe de l'équipement n'est pas isolant .

ces résultats montre que la composition des murs qui composent les façades de la crèche ne donne pas le confort thermique intérieur recherché , ce qui nécessite de réfléchir sur des solutions qui va régler ce problème.

Les recommandations :

D'après les résultats obtenus des prises de mesure in situ, la crèche a un problème au niveau de confort thermique à cause de l'enveloppe extérieur qui n'est pas isolant.por régler ce problème il est recommandé de Traiter l'enveloppe de bâtiment d'une façon qu'il sera isolant et cela peut s'effectuer avec plusieurs solution on cite :

- ✚ Créé une façade végétalisée (isolation extérieur avec la végétation).
- ✚ Créé une façade à double peau.
- ✚ Insérer des couches isolantes.

Conclusion :

La façade est un élément de l'enveloppe extérieure de bâtiment qui sépare les ambiances thermique intérieur et extérieur, plusieurs recherches ont été effectuées pour comprendre le comportement thermique de cet élément par la méthode empirique. Cette méthode donne des idées et des informations sur la situation réelle de bâtiment et le taux de la présence de confort thermique.

L'étude empirique qui a été réalisée a démontré le manque de confort thermique intérieur dans la crèche étudiée et plus précisément dans les espaces clés de la crèche (la salle des jeux et la salle de classe). Ce manque est lié par la composition de la façade qui a un impact direct sur les ambiances des espaces intérieurs, la sensation de l'inconfort des usagers oblige les usagers à l'utilisation des équipements de chauffage et de climatisation ce qui influe sur la consommation et l'efficacité énergétique de bâtiment.

Chapitre 4 : Étude numérique de la façade végétalisée

Introduction :

La simulation numérique est la méthode de la plus exploitée dans le domaine de la recherche,

À fin d'étudier le comportement thermique de la façade végétalisée, trois modèles sont réalisés représentés par des parois avec différentes compositions (parois sans végétation, parois avec végétation directe, parois avec végétation indirecte).

4.1 Présentation de logiciel de la simulation :

Le modèle étudié dans cette simulation est créé par le logiciel « Archicad » qui permet de modéliser la géométrie demandée pour ce travail.

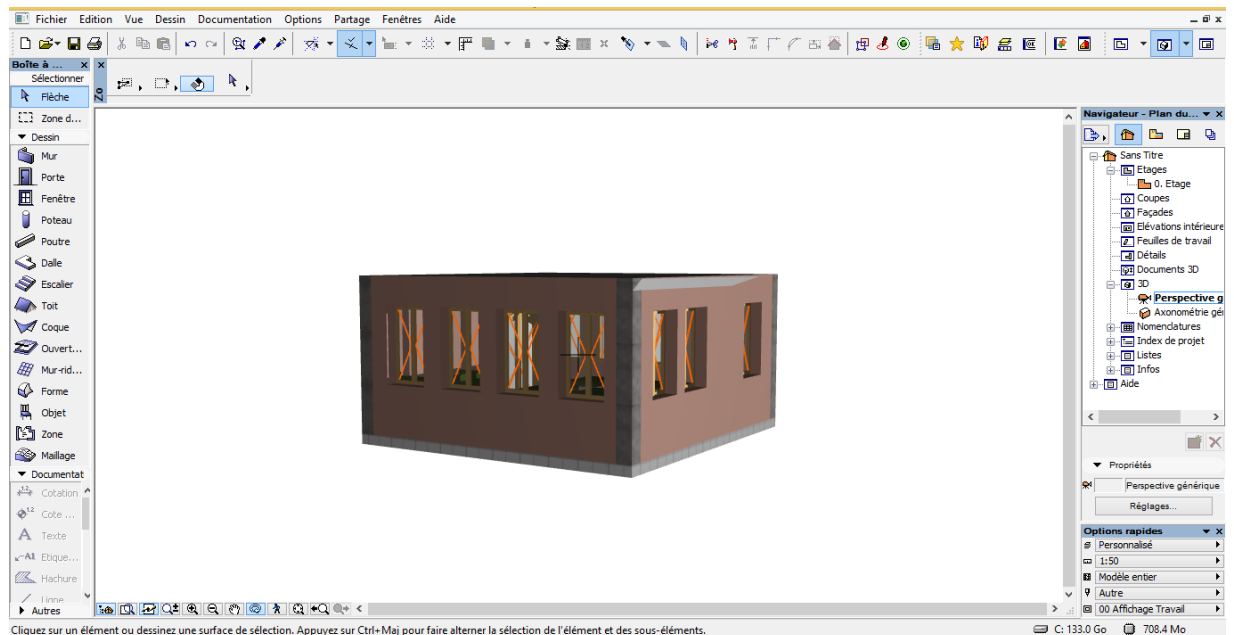


Figure 4.1 : création de géométrie modèle étudiant (source : Auteur, 2021)

Le fichier est exploité vers ArchiWizard sous format (ifc), l'étude est représentée à travers de trois modèles réalisés selon la composition de la paroi (paroi normale sans végétation, parois avec végétation directe, paroi avec végétation indirecte).

4.2 Présentation de logiciel de simulation ArchiWiZARD :

L'étude numérique a été réalisée à l'aide de logiciel de simulation énergétique des bâtiments Archiwizard 2017. c'est un logiciel de simulation énergétique des bâtiments qui permet de simuler et de démontrer la performance énergétique d'un projet architectural dans toute ces phases de la conception (de l'esquisse jusqu'à la phase de conception), dans un environnement 3D intuitif en connexion directe avec la maquette numérique et les principales solutions CAO du marché. (ArchiwiZARD, 2017)

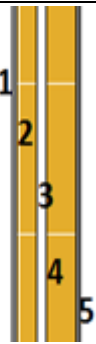
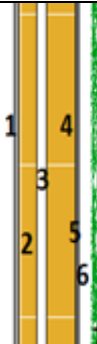
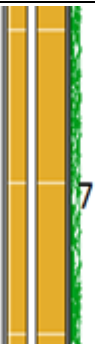


Figure 4.2 : logiciel ArchiWIZARD 2017. (Source : ArchiwiZARD,2017)

4.3 Présentation de modèle numérique la simulation :

Pour étudier l'impact de la façade végétalisée sur le confort thermique et énergétique de bâtiment, trois modèles numérique été réalisé. Le modèle de base été défini à partir d'un parallélépipède de (6×6×4m) avec une composition de la paroi ordinaire (enduit plâtre, brique creuse 10 cm, lame d'air 5cm, brique creuse 15 cm, enduit ciment 2cm).

Tableau 4.1 : les différents composants des parois des modèles de la simulation étudié. (Source : Auteur, 2021)

| MS (modèle simple) | Msi (modèle avec végétation indirecte) | Mvd (modèle avec végétation directe) | Les composants des parois |
|---|---|---|---|
|  |  |  | <p>1 : enduit de plâtre de 02cm 2 : brique creuse de 10cm 3 : lame d'aire de 05cm 4 : brique creuse de 15cm 5 : enduit ciment de 02cm 6 : vide entre le mur et la végétation de 10cm. 7 : végétation</p> |

Le tableau ci-dessous illustre les caractéristiques physiques des matériaux utilisés dans les parois des modèles étudiés.

Tableau 4.2 : Les caractéristiques physiques des matériaux utilisés pour la simulation. (Source : D.T.R.C3-2,1997)

| | Épaisseur (cm) | Conductivité thermique (W/m.k) | Densité (kg/m³) |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Brique creuse | 15-10 | 0.48 | 900 |
| Enduit de plâtre | 2 | 0.35 | 1150 |
| Enduit de ciment | 2 | 1.4 | 2200 |
| Lame d'air immobile | 5 | 0.047 | 1 |
| Lame d'air mobile | 10 | 0.026 | 1 |
| La couche de la végétation | 15 | 0.034 | 50 |

La simulation est lancée pour la durée d'une année dans le but d'avoir plus d'information sur le comportement des parois durant les différentes saisons, les résultats sont exploités sous forme d'un rapport sous format (pdf).

4.4 Résultats obtenus de la simulation de modèle mur sans végétation :

Les résultats de la simulation de modèle **Mvs** est représenté comme suit :

4.4.1 Résultats des besoins énergétiques :

La figure ci-dessous illustre les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement de modèle mur sans végétation simulé pendant une année.

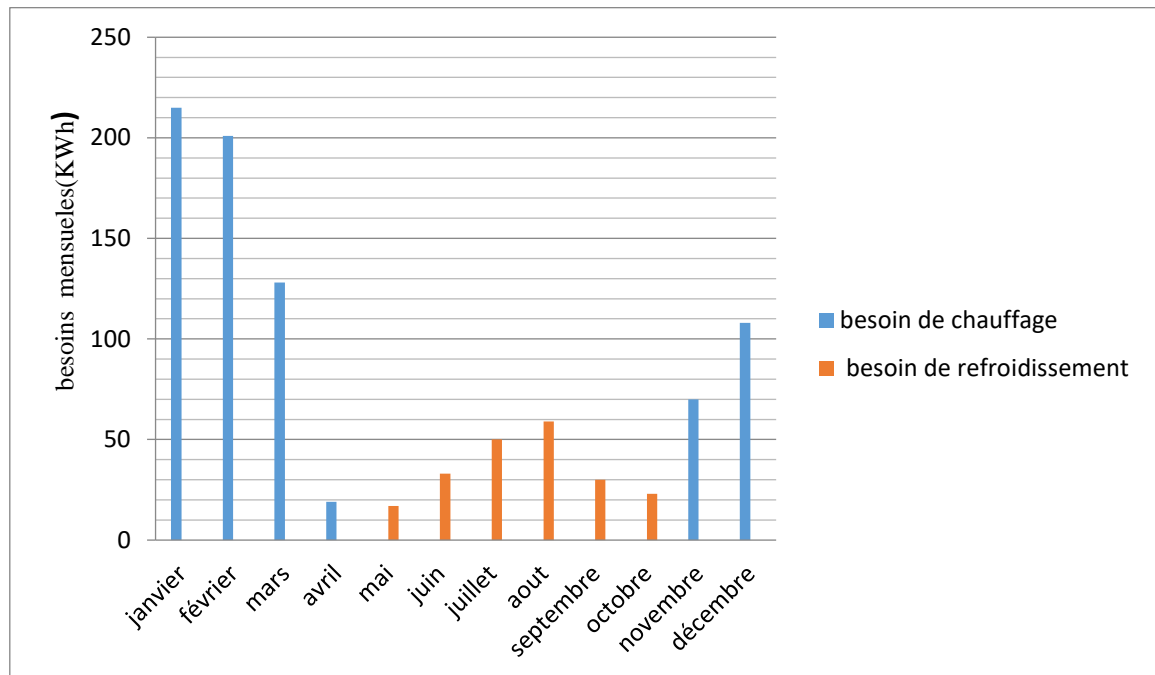


Figure4.3 : les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement dans le modèle Msv (mur sans végétation) (source : auteur, 2021)

Le diagramme à barre ci-dessus présente les résultats des besoins énergétiques de modèle mur sans végétation, on remarque que les besoins de chauffage sont élevés dans la saison hivernale, [(janvier, 215), (février, 200)].

D'autre part, dans la saison estivale, les données des besoins de refroidissement sont partiellement élevées (juillet, 50KWh). (Août, 59KWh). Ces résultats sont dus à la composition des murs de l'enveloppe de modèle étudié qui ne donne pas le confort thermique intérieur demandé.

La figure ci-dessous représente les résultats de la simulation de modèles **Mvd (mur avec végétation direct) simulé** pendant une année.

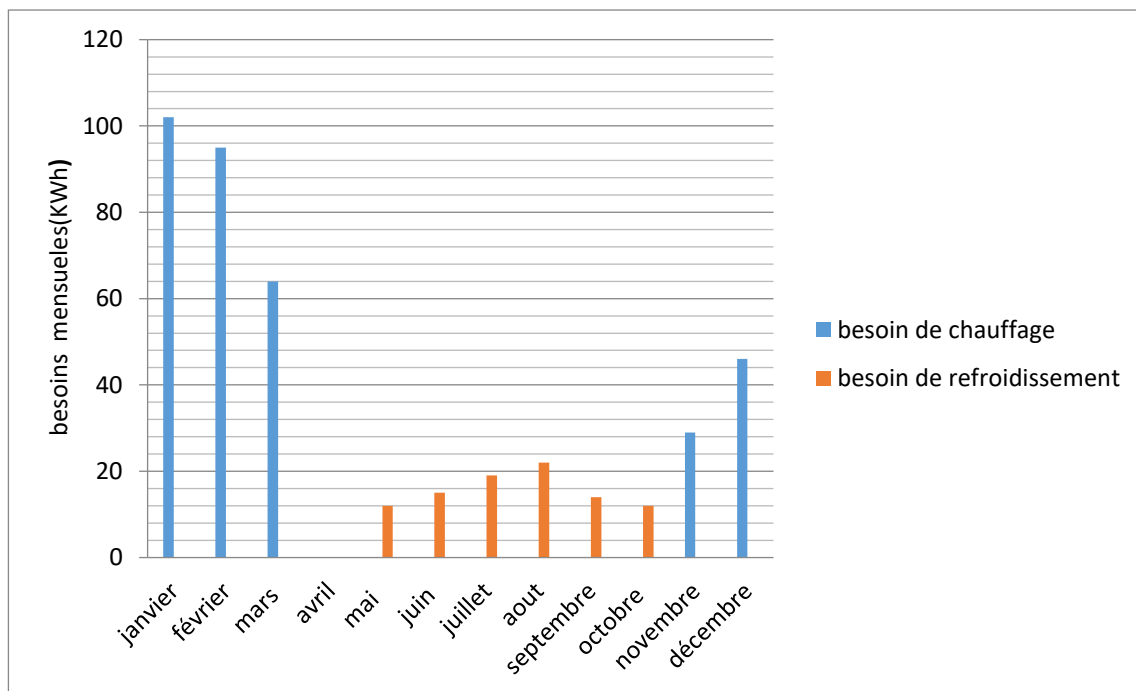


Figure 4.4 : les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement dans le modèle Mvd (mur avec végétation indirecte) (source : auteur, 2021)

La figure (4.4) illustre les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement d'un mur avec végétation direct.

A partir des résultats obtenus, on observe que dans la saison hivernale la valeur des besoins de chauffage elle augmente jusqu'à 100KWh en mois de janvier, cette valeur elle est majoritaire par rapport ou autres mois.

D'autre part les besoins de refroidissement dans la saison estival arrivent jusqu'à 25KWh en mois de août.

En comparant ces résultats avec les valeurs des besoins énergétiques d'un mur sans végétation, on remarque que elles sont demineur presque la moitié. Dans le temps ou les besoins énergétique dans le modèle Msv en moins de janvier c'était 215KWh dans ce modèle c'est 100KWh, et le même cas aussi par rapport aux besoins de chauffage au moins d'août on constate dans le modèle Msv les besoins atteint 59KWh et dans le modèle Mvd c'est 25kWh.

La figure ci-dessous représente les résultats de la simulation de modèles **Mvi (mur avec végétation indirect) simulé** pendant une année.

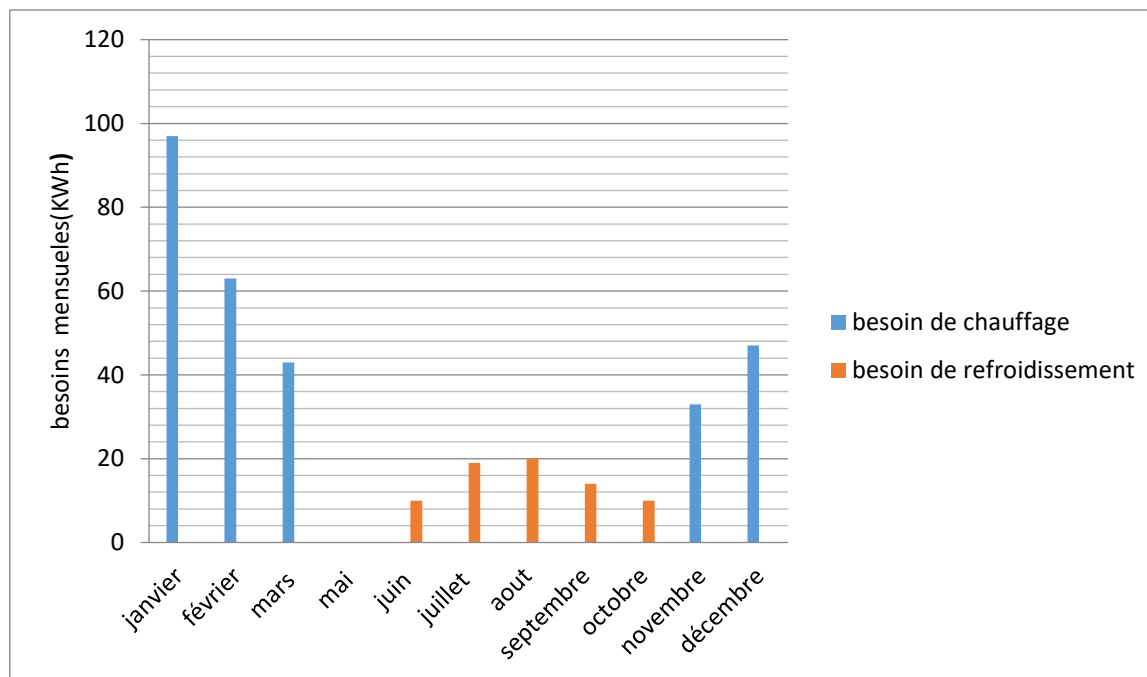


Figure 4.5 : les besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement dans le modèle Mvi (mur avec végétation indirecte) (source : auteur, 2021)

Histogramme suivant présente les besoins énergétiques d'un mur avec végétation indirect.

A partir de la figure (4.5) on remarque que les besoins de chauffage dans la saison hivernale 95KWh en mois de janvier comme valeur maximale. et par rapport aux résultats des besoins de refroidissement on constate que elle atteint la valeur 19KWh en mois d'août comme une valeur maximale.

Comparant avec les autres résultats (sans végétation, avec végétation directe) on remarque que les valeurs des besoins énergétiques sont plus diminuer dans ce modèle (mur avec végétation indirecte) et ça c'est à cause de la présence de vide entre la couche de la végétation et le mur principale de la composition de la façade.

À partir des résultats obtenus dans la simulation des trois modèles avec des compositions des murs différents (mur sans végétation, mur avec végétation directe, mur avec végétation indirecte) on déduit que la présence de la végétation dans la composition de mur extérieur (de la façade) influe d'une manière positive sur la consommation énergétique de bâtiment avec une diminution d'environ 50% des besoins énergétiques de chauffage et de refroidissement et que l'implantation de la végétation indirecte est plus efficace que la végétation directe.

4.4.2 Les résultats de la température intérieure :

Le graphe suivant représente la température intérieure obtenue par la simulation de modèle Msv (mur sans végétation)

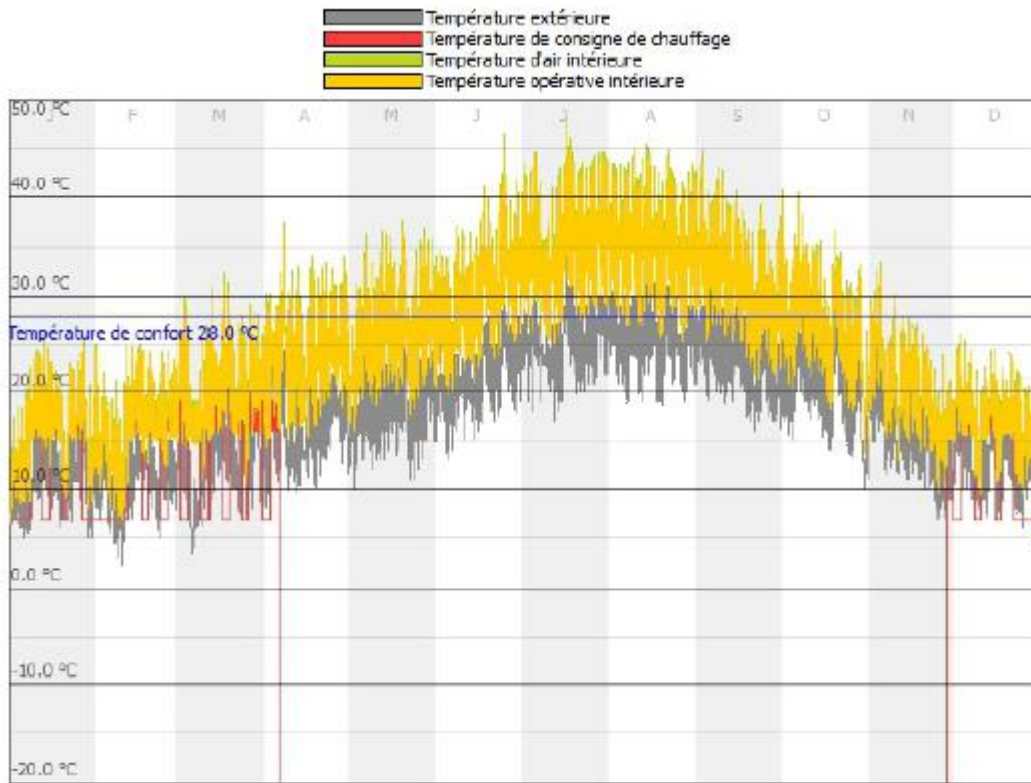


Figure4.6: graphe de température intérieure de modèle Msv (mur sans végétation) (source : auteur, 2021)

À partir de la figure (4.6) on remarque que la température intérieure de modèle simulé est inférieure de la température de confort pendant les mois janvier, février, novembre et décembre (la saison hivernale) et qu'elle est supérieure de la température de confort pendant les mois (avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre) elle atteint jusqu'à 42°C. Cette valeur signifie que il y a une absence totale de confort thermique intérieur dans ce modèle, et ça c'est à cause de la composition de l'enveloppe verticale de modèle (les murs) qui sépare les ambiances intérieurs et extérieurs.

Le graphe suivant représente la température intérieure obtenue par la simulation de modèle Mvd (mur avec végétation directe)

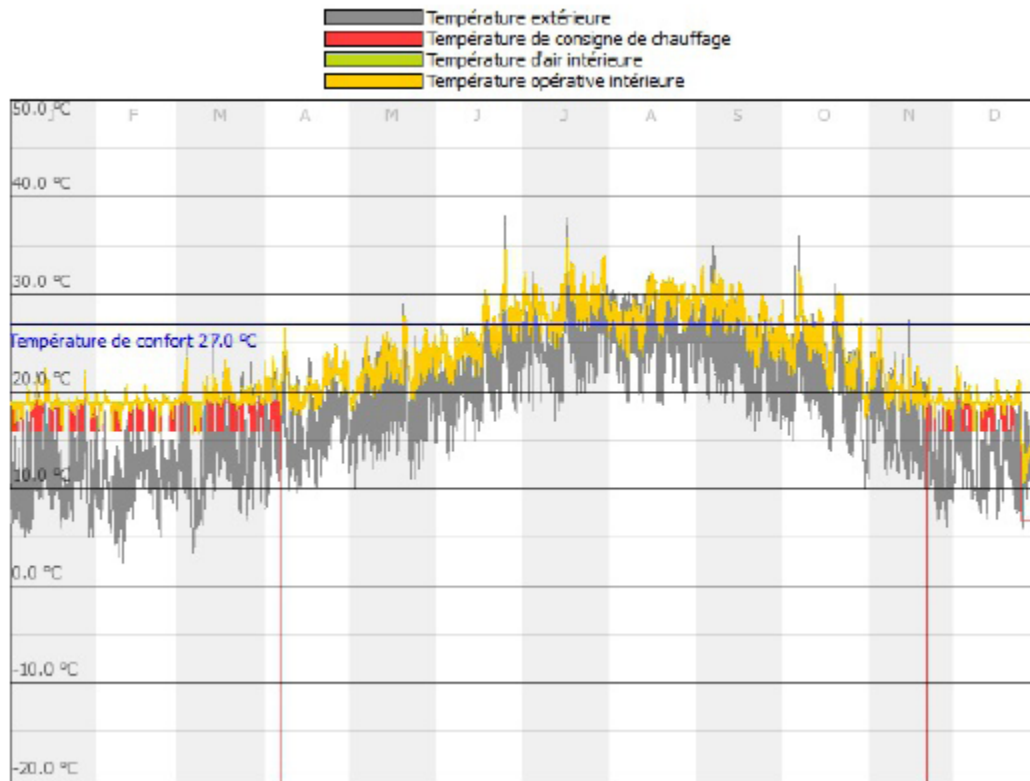


Figure 4.7: graphe de température intérieure de modèle Mvd (mur avec végétation directe) (source : auteur, 2021)

Les résultats de la simulation de modèle mur avec végétation directe représenté dans la figure (4.7) montre que la température intérieure pendant la saison hivernale est inférieure toujours de la température de confort (inférieur à 27°C) comparant avec le modèle mur sans végétation, mais dans les mois avril, mai, juin, juillet, aout, septembre et octobre on remarque que la température atteint les environ 32°C comme une valeur maximale et c'est des valeurs qui sont diminué de plus de 10°C par rapport au modèle mur sans végétation. Cette diminution est à cause de la présence de la végétation dans la composition extérieure des murs ce qui aide l'enveloppe verticale à protéger l'espace intérieur des rayonnements solaires intérieurs et l'effet de l'ombrage de ces végétaux qui influe sur les ambiances thermiques intérieur.

Le graphe suivant représente la température intérieure obtenue par la simulation de modèle Mvi(mur avec végétation indirecte).

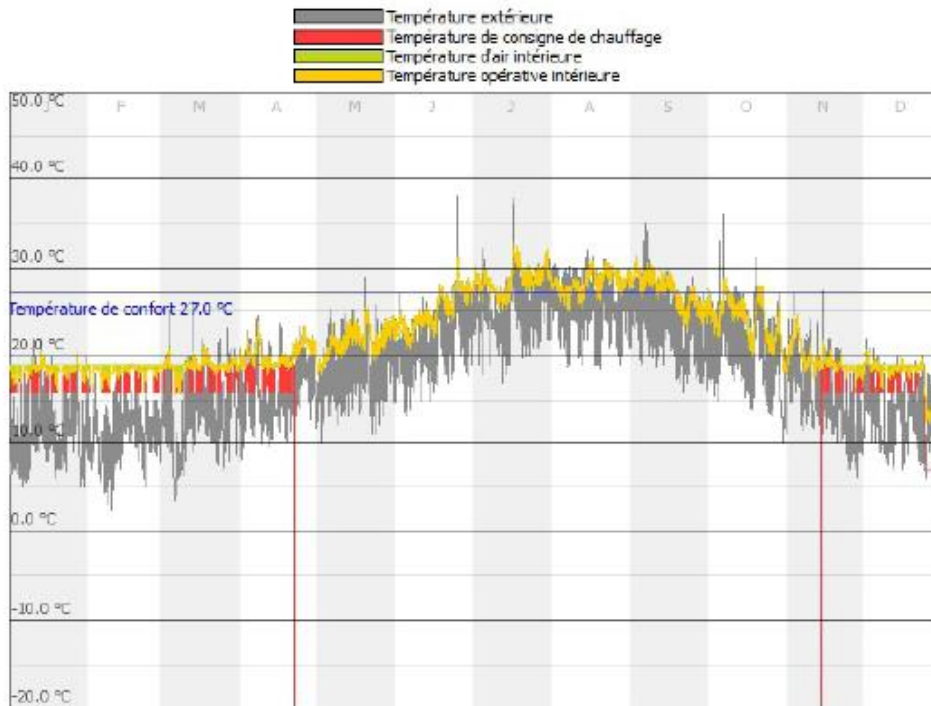


Figure4.8: graphe de température intérieure de modèle Mvi (mur avec végétation indirecte) (source : auteur, 2021)

Les résultats de la simulation de modèle mur avec végétation directe représenté dans la figure (4.8) montre que la température intérieure pendant la saison hivernale est inférieure toujours de la température de confort (inférieur à 27°C) comparant avec le modèle mur sans végétation, mais dans les mois avril, mai, juin, juillet, aout, septembre et octobre on remarque que la température atteint les environ 30°C comme une valeur maximale et cette valeur elle diminué par rapport au deux modèles précédent (mur sans végétation et mur avec végétation directe) . Cette diminution est à cause de la présence de vide entre la végétation le mur qui influe sur la température intérieur par la réduction de l'échange thermique entre l'intérieur et l'extérieur.

Après l'analyse des résultats de la simulation des trois modèles par rapport à la température intérieure , on déduit que l'implantation de la végétation sur le mur influe sur les ambiance thermique intérieur par la réduction de la température intérieure surtout pendant la période chaude et que la végétation indirecte à un effet mieux que la végétation indirect.

4.4.3 Les résultats des déperditions thermiques :

La figure ci-dessous représente les déperditions thermiques de modèle Msv (mur sans végétation) simulé pendant une année.

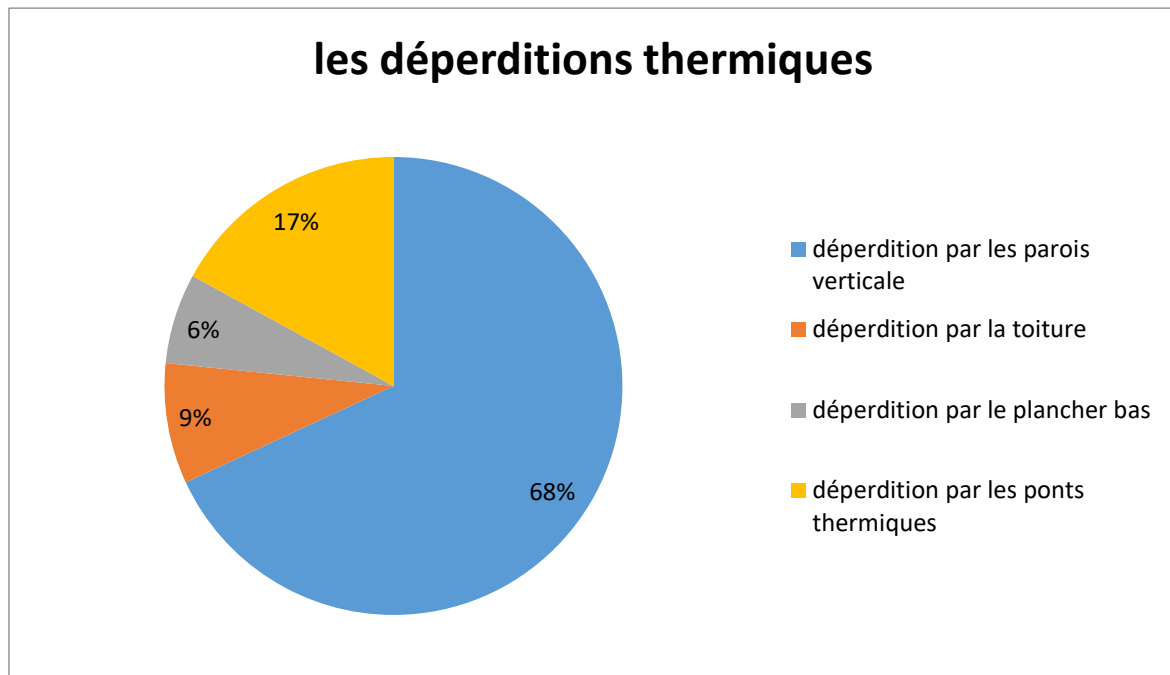


Figure4.9 : les déperditions thermiques (mur sans végétation) (source : auteur, 2021)

D'après les résultats illustré dans le diagramme circulaire présenté ci-dessus on remarque que les déperditions thermique dans le secteur des parois verticales présente le pourcentage majoritaire par 68% est ca c'est a cause de la composition de ce dernier qui n'empêche pas ces déperdition et ça influe directement sur la qualité de confort thermique intérieur et sur la consommation énergétique d'une manière négative.

La figure ci-dessous représente les déperditions thermiques de modèle Mvi (mur avec végétation directe) simulé pendant une année.

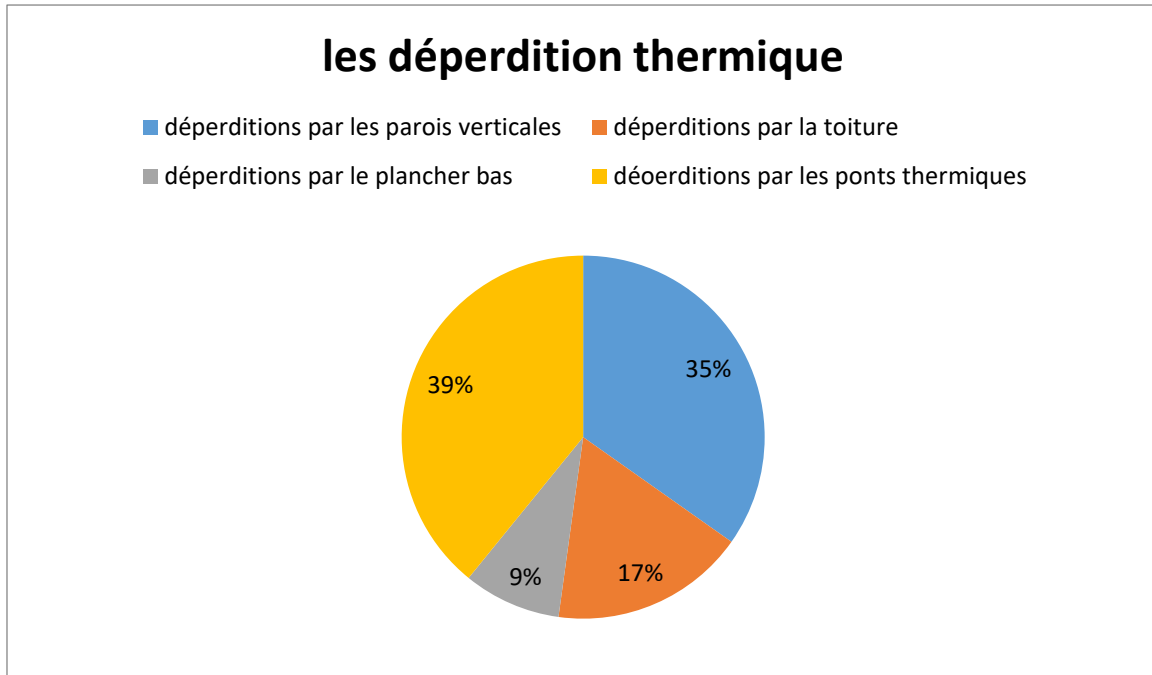


Figure 4.10 : les déperditions thermiques (mur avec végétation direct) (source : auteur, 2021)

Les déperditions thermiques constatées par rapport aux résultats de modèle mur avec végétation directe le secteur majeur c'est les déperditions par les ponts thermiques avec 39% et après on trouve les déperditions par les parois verticales avec 35%, comparé avec le modèle précédent (mur sans végétation) on constate que les déperditions thermiques sans sont réduites à la moitié dans Msv les déperditions 68% et avec l'intégration de la végétation c'est 35%, donc la présence de la végétation dans la composition de la paroi diminue les déperditions thermiques, ce qui influence sur la consommation énergétique.

La figure ci-dessous représente les déperditions thermiques de modèle Mvi (mur avec végétation indirecte) simulé pendant une année.

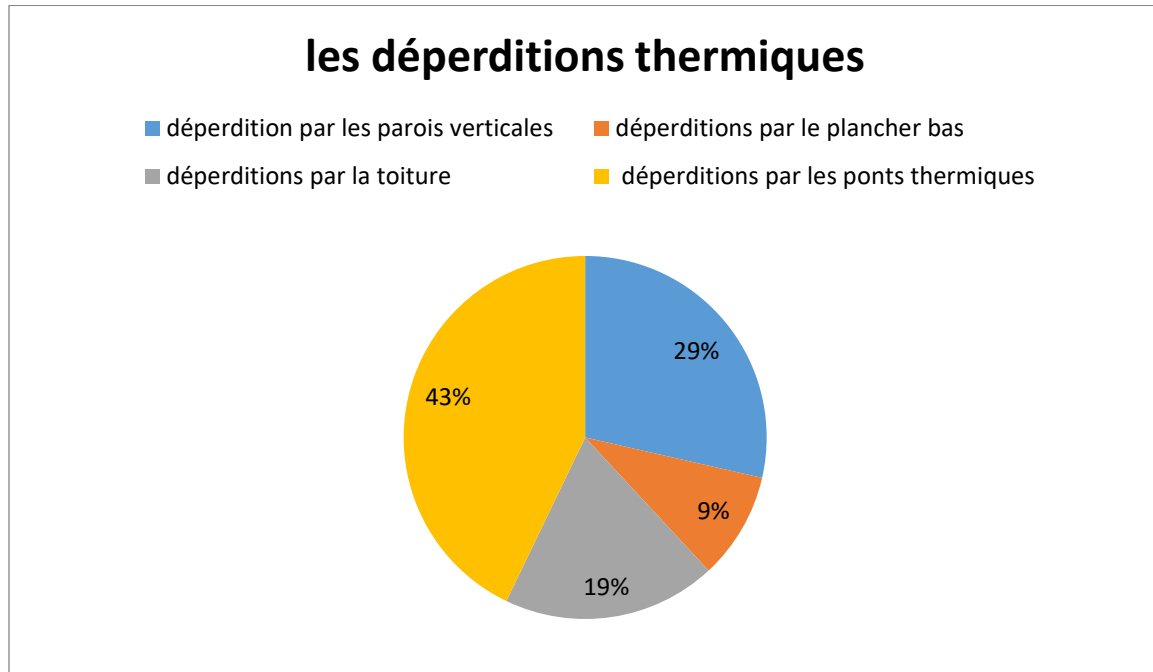


Figure 4.11: les déperditions thermiques (mur avec végétation indirecte) (source : auteur, 2021)

La figure (4.11) illustre les déperditions thermiques constaté par rapport aux résultats de modèle mur avec végétation indirecte, le secteur majeur c'est les déperditions par les ponts thermiques avec 43% et après on trouve les déperditions par les parois verticale avec 29%, comparant avec les modèles précédent (mur sans végétation et mur avec végétation directe) on constate que les déperditions thermique sans plus réduite ce qui signifie que cette dispositif elle est plus performant au niveau de confort thermique intérieur et de la consommation énergétique.

Après l'analyse des résultats de la simulation des trois modèles étudié par rapport aux déperditions thermique, on déduit que l'implantation de la végétation sur le mur influe sur les déperditions thermiques et ça influe directement sur les ambiances, et que la végétation indirect donne plus de performance que la végétation directe par rapport au confort thermique et la consommation énergétique.

Conclusion :

La façade de bâtiment représente la surface la plus grande de l'échange thermique entre les ambiances intérieures et extérieures, donc sa composition influe directement sur la qualité de l'espace intérieur et sur la qualité de la consommation énergétique de bâtiment.

L'étude numérique élaborée sur les types des murs de la façade (mur sans végétation, mur avec végétation directe, murs avec végétation indirecte) aidé pour donner une compréhension et des informations sur l'impact de la façade végétalisée par rapport au confort thermique et la consommation énergétique de bâtiment. Ainsi la simulation a confirmé l'effet positif de la façade végétalisée sur la performance thermique et énergétique.

Conclusion générale :

La façade de bâtiment représente l'élément vertical de l'enveloppe qui sépare les ambiances internes et externes, c'est la plus grande partie de bâtiment qui est en contact direct avec l'environnement extérieur.

La présente recherche est pour l'objectif de savoir l'impact de la façade végétalisée sur le confort thermique, pour ce faire deux méthodes de recherche sont exploitées (la méthode empirique et la méthode numérique) à fin de bien maîtriser le comportement et l'effet thermique de la façade végétalisée et son rôle dans la consommation énergétique.

L'étude empirique qui a été effectuée sur le bâtiment crèche à Bejaïa a montré que Les façades végétalisées offrent une protection thermique en agissant comme une barrière naturelle contre les variations de température. Elles assurent une isolation supplémentaire, réduisant ainsi les besoins en chauffage en hiver et en climatisation en été. La présence de plantes sur les façades crée une couche d'air tampon qui régule la température intérieure.

La simulation numérique effectuée sur les composants de la parois de la façade qui a permis d'étudier et d'optimiser l'impact de la façade végétalisée sur le confort thermique de bâtiment. Dans cette deuxième méthode d'étude trois modèles ont été élaborés, les résultats de la température intérieure obtenue confirment que l'impact de la façade végétalisée positif sur le confort thermique intérieure des bâtiments. En été, la végétation agit comme un écran solaire naturel, réduisant l'absorption de chaleur par les murs et régulant la température intérieure. En hiver, les plantes peuvent agir comme une couche isolante supplémentaire, minimisant les pertes de chaleur. De plus, le processus de transpiration des plantes contribue à la diminution de la température ambiante par évaporation, créant ainsi un microclimat plus agréable.

Les résultats de la recherche et d'étude effectuée ont démontré que l'impact de la façade végétalisée est positif sur le confort thermique de bâtiment, elle exerce une influence multifactorielle sur le confort thermique des bâtiments, agissant comme un système dynamique et adaptatif. En été, la présence de végétation agit comme un bouclier naturel contre le rayonnement solaire direct, limitant l'absorption de chaleur par les parois du bâtiment. Cette protection solaire réduit considérablement la surchauffe des espaces intérieurs, contribuant ainsi à maintenir une température ambiante plus fraîche. De plus, le processus de transpiration des plantes, connu sous le nom d'évapotranspiration, joue un rôle

crucial. Lorsque les plantes libèrent de l'eau dans l'air, cela crée un effet de refroidissement. Cette évaporation contribue à abaisser la température ambiante, créant un microclimat plus confortable autour du bâtiment. Ainsi, les façades végétalisées ne se contentent pas de fournir une barrière physique contre la chaleur, mais elles interagissent également activement avec l'environnement pour réguler la température. En hiver, les plantes sur la façade agissent comme une couche isolante supplémentaire. Elles créent une barrière thermique qui réduit les pertes de chaleur du bâtiment, contribuant ainsi à maintenir une température intérieure stable et confortable. Cette fonction isolante peut aider à réduire la dépendance aux systèmes de chauffage, contribuant ainsi à des économies d'énergie. Outre ces avantages thermiques, les façades végétalisées offrent des bienfaits esthétiques, écologiques et environnementaux. Elles améliorent la biodiversité locale, favorisent la rétention des eaux pluviales, et contribuent à l'esthétique globale de l'environnement bâti. En résumé, les façades végétalisées présentent un ensemble complexe d'avantages thermiques, agissant de manière proactive pour atténuer les extrêmes climatiques et offrant ainsi un confort thermique optimal tout au long de l'année.

BIBLIOGRAPHIE :

ANNE-MARIE, B. (2011). Végétation du bâtiment en milieu urbain : bénéfice et perspectives. Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement.

Benhalilo, K.(2008) impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estivale du bâtiment :cas de climat semi aride(thèse doctorat). Université mentouri, Constantine.

Benhouhou, M.N.(2012).l'impact des matériaux sur le confort thermique dans les zones semi-arides (mémoire magister).EPAU, Algérie.

Djedjig,R.(2015). Impact des enveloppes végétales à l'interface bâtiment microclimat (Thèse doctorat).Université de la Rochelle, France.

DEPECKER.P. (1985).Constitution et modes de transfert d'un savoir scientifique dans le champ de l'architecture : le cas de la thermique (Thèse de doctorat) INSA, Lyon.

EL Aboudi.A. Ecologie végétale .Faculté des Sciences -Rabat- Laboratoire de Botanique, Mycologie et Environnement. university Mohammed V- Agdal.

FC,LL,ED. (2016). thermique des bâtiments. Edition académie Rouen.

Guerram GH, Louafi I. (2017/2018). l'impact de l'enveloppe extérieure de bâtiment tertiaire sur le confort thermique (mémoire de master) université Larbi Ben M'hidi-OED.

Givinou B, l'homme (1978) "l'architecture et le climat", Edition de moniteur, Paris.

Gros.A, Guyot.A. (2014). la végétation, composant climatique de l'architecture méditerranéenne, formation de recherche du groupe ABC. établissement public d'Architecture de Marseille- luminy- France.

Libard.A et Herde.A. (2002). guide de l'architecture et d'urbanisme bioclimatique, edition système solaire. Paris.

Libard.A et Herde.A. (2005). traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, edition le moniteur et observ'ER. Paris.

Martin, Y. (2015). Façades végétalisées: nouvelles tendances et état de l'art . Bruxelles.

Meddour.A. (2017), habitat écologique, l'élément vert dans l'éco construction à la ville de Guelma, université 08 mai 1945 de Guelma.

Med.B, Fuchs.A. (2009). la végétation des bâtiments, une contribution de la DREIF et des EPA d'ILE de France à l'aménagement de la ville, Paris.

Ottelé.M, Perini.K, Fraaiji.A.L.A, Haasa.E.M, Rossana.R. (2011). vertical greening systems and building environment, the effect on air flow and temperature an the building envelope.

ZEKRAOUI, D. (2017). L'impact de l'ouverture de la façade sur la consommation de l'énergie dans les bâtiments à usage de bureau sous un climat Chaud et sec (Thèse doctorat). Université Mohamed Kheider, Biskra.

Zglinski S. (2017). Des dispositifs de végétation du bâtiment existant. Architecture aménagement de l'espace.