

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Université de Blida 1

Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables



Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de
Master en Énergies Renouvelables

Option : Habitat Bioclimatique

THÈME

L'influence d'un mur végétal sur
Le comportement thermique d'un habitat

par :

Melle. OULED ABDELLAH FATMA

Soutenu le 04/10/2017 devant le jury composé de :

Dr A. HAMID

Mr LAFRI

Mr KOCEILA

Pr SEMMAR Djaaffar

Président

Examinatrice

Examineur

Promoteur

2016/2017

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce mémoire : mon frère Enes, et bien sur A mes sœurs,

A toute ma famille, et mes amis,

A mon encadreur Pr.SEMMAR Djaffar et toute la famille Ramdani.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce mémoire soit possible, je vous dis merci.

FATIMA

Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu le tout puissant, d' avoir illuminé et ouvert les portes du savoir, en donnant la volonté, le courage, et la patience d'élaborer ce travail.

Je tiens à remercier particulièrement :

- Mon Professeur Pr.**SEMMAR Djaffar** qui a dirigé ce travail et pour l'encouragement et les nombreux conseils dont nous ont été bénéfiques.

-Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à **MES PARENTS** pour leur sacrifice et soutien inestimables durant toutes mes études.

- Je remercie également tous les enseignants du Département.

-Enfin, mes remerciements vont aussi à tous mes collègues de master 2 , comme je remercie tous ceux qui ont aidés de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

FATIMA

Résumé

La construction contemporaine a connu une urbanisation rapide de ERP (Etablissement Recevant du public) et de l'habitat, à cet effet les architectes et les thermiciens ne valorisent pas l'aspect du confort thermique dans le bâtiment, ils ont beaucoup plus orienter vers l'intérêt de sécurité de l'ossature du bâtiment que la thermique de ce dernier.

Nous avons constaté qu'il n'y a pas de contrôle de confort, Ce fait, il provoque l'effet de passoire thermique dans le bâtiment.

Afin de réduire l'impact de cette urbanisation rapide, les villes sont à la recherche des stratégies écologiques adéquates.

Il faut qu'on arrive à maîtriser les paramètres thermiques au moment de la conception d'une construction afin d'apporter le confort souhaité.

C'est dans cette optique nous inscrivons notre travail sur une stratégies passive celle de l'élément végétal comme revêtement des façades.

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une évaluation sur l'influence d'un mur végétal sur

Le comportement thermique d'une habitation située à la ville de Blida en Algérie.

Le bilan thermique réalisé grâce à la simulation avec le logiciel pléiade, Nous permet d'identifier les besoins de climatisation (période estivale). Afin de déterminer le comportement thermique de l'habitation.

Mots clés : l'isolation thermique ; comportement thermique ; mur végétal

ملخص

وقد شهد البناء المعاصر التوسع الحضري السريع في (الإسكان العام) والإسكان، لهذا الغرض المهندسين المعماريين والحراريات لاتقدر الجانب من الراحة الحرارية في المبنى، لديهم أكثر من ذلك بكثير للتوجه نحو مصلحة سلامة المبنى كما الحراري الأخير. وجدنا أنه لا يوجد السيطرة الراحة، وهذه حقيقة أنه يسبب تأثير غربال الحراري في المبنى. ومن أجل الحد من تأثير هذا التوسع الحضري السريع، تبحث المدن عن استراتيجيات إيكولوجية ملائمة. فمن الضروري السيطرة على المعلمات الحرارية في وقت تصميم البناء من أجل تحقيق الراحة المطلوبة. ومن هذا المنظور نضع عملنا على استراتيجية سلبية من عنصر النبات كغطاء للواجهات. عملنا هو جزء من تقييم لتأثير جدار النبات على السلوك الحراري لمنزل يقع في بلدة البلدية في الجزائر. التوازن الحراري بيتحقق بفضل المحاكاة معبر نامجبلباد، يسمح لنا لتحديد احتياجات تكييف الهواء (فترة الصيف). لتحديد السلوك الحراري للمسكن. كلمات البحث: العزل الحراري؛ السلوك الحراري؛ جدار النبات

Abstract :

Contemporary construction has experienced a rapid urbanization of ERP (public housing) and housing, for this purpose architects and thermicians do not value the aspect of thermal comfort in the building, they have much more to orient towards the safety interest of the building's structure as the latter's thermal. We found that there is no comfort control, this fact it causes the effect of thermal sieve in the building. In order to reduce the impact of this rapid urbanization, cities are looking for appropriate ecological strategies. It is necessary to master the thermal parameters at the time of the design of a construction in order to bring the desired comfort. It is in this perspective that we put our work on a passive strategy that of the plant element as a covering of the facades.

Our work is part of an evaluation of the influence of a plant wall on The thermal behavior of a house located in the town of Blida in Algeria. The thermal balance realized thanks to the simulation with the pleiade software, allows us to identify the needs of air conditioning (summer period). To determine the thermal behavior of the dwelling.

Keywords: thermal insulation; thermal behavior; green wall

Sommaire

Introduction général

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Introduction	1
1. Définition et présentation	1
2. Historique des murs végétalisés.....	2
3. Concept	3
4. Typologies de parois végétales	4
4.1 - Toitures végétalisées	4
4.2 - Façades végétalisées	6
5. Impacts environnementaux de la végétalisation	7
5.1 - Aspects sociologiques et psychologiques	8
5.2 - L'influence de la façade végétalisée sur le confort acoustique	8
5.3- Dépollution atmosphérique	9
5.4 - L'îlot de chaleur urbain	10
6. L'influence de Mur végétalisé sur le comportement thermique de l'habitat.....	11
6.1 - Le rôle de la végétation à feuillage caduc sur les ambiances microclimatiques saisonniers.....	11
6.2 - Confort thermique dans la végétation à feuillage caduc	11
7. La mise en œuvre des murs végétalisés	12
7.1 - Les différents types de la mise en œuvre des murs végétalisés	12
7.1.A- Principe de la végétalisation d'une façade	12
7.1.B- Principe du mur végétal sur nappe horticole.....	13
7.1.C- Principe du mur végétal monobloc	14
7.2 - La culture de la végétation	15
8. Les avantages des murs végétalisés	16
8.1 - Le confort été/hiver	16
9. La maintenance des murs végétalisés.....	17
10. Inconvénients	17
11. Performances de refroidissement des plantes grimpantes.....	18
11.1- Effets thermiques des murs couverts de lierre	18

11.1.1. Expérience à Hong Kong	18
11.1.2. Expérience à Pékin	20
11.1.3. Expérience au Japon	22
11.2. Effets thermiques d'une variété de vignes sur les températures des murs.....	24
11.2.1. Expérience aux états unis	24
11.2.1.1. Essai d'une couverture de Glycine sur une pergola ouest	25
11.2.1.2. Essai des vignes grimpant contreun mur de brique orienté sud....	26
11.2.1.3. Essai des Espaliers accroissant sur un mur ouest en stuc	27
11.2.2. Expérience au Japon.....	28
11.3. Effets thermiques des vignes sur l'environnement thermique interne d'une façade vitrée	29
11.3.1. Expérience en Angleterre.....	29
11.3.2. Expérience à Toronto	31
11.4. Effets thermiques d'une combinaison de végétation à feuilles caduques et persistantes sur les murs extérieurs	33
Conclusion	33

Chapitre 2 : Présentation du cas d'étude

1. Présentation du cas d'étude et méthodologie de travail	34
1.1- Notre travail	34
1.2- Situation géographique	34
1.3- Donnée climatique	35
1.4- Description de l'habitation	37
2. Caractéristique de l'enveloppe du bâtiment	38
2.1- Isolation thermique et composition des parois	38
2.1.1- Configuration performante	39
2.1.2- Composition des ouvertures performantes	39
3. Réglementation et consigne du DTR	40
3.1- Document thermique réglementaire (DTR) Algérien	40
3.2- Méthodes de calculs des deux documents thermiques	41
3.3- Méthode du DTR.....	42
Conclusion	42

Chapitre 3 : Bilan thermique

Introduction	43
--------------------	----

1. Logiciels testés	43
2. Présentation générale de l'outil de simulation le logiciel PLEIADES + COMFIE...	43
2.1- Pléiades Comfie	43
2.1-a. L'interface Pléiades+ Comfie	44
2.2- ALCYONE	45
2.3 METEONORM 7.1	45
Procédures d'injection des données sur pléiade	46
3. Le Bilan Énergétique Du Projet (Utilisation de D.T.R c 3-2).....	47
Simulation statique	47
3.1- Calcul des déperditions et apports calorifiques des bâtiments	47
a. Calcul les coefficients de déperditions K	47
3.2- Les déperditions par transmission (DT) _i d'un volume i sont données par	48
b. Déperditions À Travers Les Ponts Thermiques	48
3.3- Projet modélisé et son comportement de référence	49
3.4- Description des systèmes constructifs et conditions aux limites sous PLÉIADE COMFIE	52
3.4.1- Description des parois	52
3.4.2- Les scenarios	54
a. Les scenarios d'occupation	54
b. Les scenarios de Puissance Dissipée	56
Conclusion	56

Chapitre 4 : Simulation, interprétation des résultats

Introduction	58
1. Démarches de la simulation	58
Synthèse	58
1.1. Simulation Sans Consigne De Thermostat	58
1.2 Résultat de simulation sans consigne de thermostat	59
a. Synthèse de l'habitation.....	59
b. Visualisation graphique	59

2.Proposition d'amélioration passive de notre cas d'étude	61
2.1- Intégration d'un mur végétal	61
2.2- Hypothèses de l'étude	61
- Hypothèse principale	61
- Hypothèses secondaires	61
2.3- Simulation après l'intégration d'un mur végétal.....	62
2.3.1- La composition de la paroi végétale	62
2.4- Résultat de simulation avec l'intégration d'un mur végétal	63
2.4.1- Synthèse de l'habitat	63
2.4.2- Visualisation graphique	63
Conclusion	64

Conclusion générale

Table des figures :

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Figure 1.1 : le temple d'Angkor	2
Figure 1.2 : Murs végétaux simples de façade.....	2
Figure 1.3 : Coupe transversale d'un toit végétal	3
Figure 1.4: (a)Toiture végétalisée de l'Historial de la Vendée, France (b) Toiture végétalisée de l'hôtel de ville de Chicago, Illinois	4
Figure 1.5: Composition typique d'un toit végétalisé.....	5
Figure 1.6: Quatre types différents de façades végétalisées : (A) végétalisation directe ; (B) végétalisation indirecte; (C) système de mur vivant avec modules de plantation; (D) système de mur vivant avec une couche feutre hydroponique.....	6
Figure 1.7: Exemples de façades végétalisées : (a) Mur végétal du musée du quai de Branly; (b) Façades végétales grimpantes du CHU de Leipzig dans la Saxe en Allemagne.....	7
Figure 1.8 : Musée du Quai Branly.....	8
Figure 1.9 : Mur couvert par de la vigne vierge.....	8
Figure 1.10 : l'influence de la façade végétalisée sur le confort.....	9
Figure 1.11 : l'influence de la façade végétalisée sue le confort olfactif.....	9
Figure 1.12 : l'influence de la façade végétalisée sue l'ilot de chaleur urbain.....	10
Figure 1.13 : Comportement de la végétation à feuillage caduc sur les ambiances microclimatiques saisonnières	11
Figure 1.14 : l'influence de la façade végétalisée sur le confort thermique.....	11
Figure 1.15 : Des pelotes adhésives	12

Figure 1.16 : Mur couvert par de la vigne vierge.....	12
Figure 1.17 : Hôpital de Hullier à Lille – photo : S. Stefulesco	13
Figure 1.18 : Composition d'un mur végétal sur nappe horticole	14
Figure 1.19 : Structure d'un mur végétal	14
Figure 1.20: Mise en œuvre du Substrat	15
Figure 1.21 : Composition d'un mur végétal monobloc	15
Figure 1.22 : Model du mur couvert de lierre	18
Figure 1.23: Relation être HF et rapport de couverture (r).....	19
Figure 1.24: Vue Ouest de la bibliothèque d'université de Tsinghua.....	20
Figure 1.25: Installation expérimentale.....	21
Figure 1.26: Variation des températures pendant le jour.....	21
Figure 1.27: Transfert d'énergie à la couche de feuilles le 24-07-1996.....	22
Figure 1.28: Variations journalières du flux de chaleur aux surfaces du mur ouest.....	23
Figure 1.29: Installation de l'expérience.....	24
Figure 1.30 : Section de la Pergola montrant les endroits de mesures.....	25
Figure 1.31: Vigne de Campsis sur un mur sud de brique	26
Figure 1.32: Températures maximales journalières en septembre.....	27
Figure 1.33: Mur en stuc couvert d'espaliers.....	27
Figure 1.34: Diagramme des données de pergola et d'espalier.....	28
Figure 1.35: Variations journalières du rayonnement solaire incident sur la véranda avec et sans écran de vigne.....	29
Figure 1.36: Le Bioshader	30
Figure 1.37: Ecart de température entre la salle d'essai et la salle témoin.....	30
Figure 1.38: Jardin vertical testé à l'université de Toronto.....	31
<u>Chapitre 2 : Présentation de cas d'étude</u>	
Figure 2.1: Limite géographique de la ville de Blida.....	34
Figure 2.2: Localisation de la commune dans la wilaya de Blida.....	34
Figure 2.3 : Façade Sud	37
Figure 2.4 : Plan de rez-de-chaussée.....	38
Figure 2.5 : Plan de premier étage.....	38

Chapitre 3 : Bilan thermique

Figure 3.1 : interface de pléiade.....	44
Figure 3.2: interface de Alcyone.....	45
Figure 3.3: Procédures d'injection des données sur PLÉIADE.....	46
Figure 3.3.1 Modélisation 3D de l'habitation sur Alycone	50
Figure 3.4: le plan de Rez-de-chaussée sur ALCYONE.....	50
Figure 3.5: Le plan de 1 ^{er} étage sur ALCYONE.....	51
Figure 3.6: Occupation de la zone 01 (Séjour).....	54
Figure 3.7: Occupation de la zone 02 (Salle à manger).....	54
Figure 3.8: Occupation de la zone 03 (3 chambres).....	55
Figure 3.9: Occupation de la zone 04 (1 chambre).....	55
Figure 3.10: Puissance Dissipée zone 01 : séjour.....	56
Figure 3.11: Puissance Dissipée zone 03 : 3 chambres	57
Figure 3.12: Puissance Dissipée zone 04 : 1 chambres	57

Chapitre 4 : Simulation, Interprétation des résultats

Figure 4.1 : Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat de la semaine plus chaude.....	63
Figure 4.2: Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat de toute l'année	63

Tableaux :

Chapitre 1 : Etude bibliographique

Tableau 1.1: Comparaison des toitures intensives et extensive.....5

Chapitre 2 : présentation du cas d'étude

Tableau 1.1 : Caractéristique des matériaux performants39

Tableau 1.1 : Caractéristique des ouvertures performants39

Chapitre 3 : Bilan thermique

Tableau 3.1 : Composition de Mur extérieur52

Tableau 3.2 : Composition de Mur intérieur.....52

Tableau 3.3 : Composition de Plancher bas.....53

Tableau 3.4 : Composition de Plancher isolée (plancher intermédiaire et la toiture)53

Chapitre 4 : Simulation, Interprétation des résultats

Tableau 4.1 : Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat RDC.....59

Table des graphes :

Chapitre 4 : Simulation, Interprétation des résultats

Graphe 4.1 : Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat de la semaine plus chaude59

Graphe 4.2: Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat de toute l'année...60

Graphe 4.3: Récapitulatif des besoins en été avec le mur végétal de toute l'année63



Introduction générale

Introduction générale

Les études et travaux de recherches entrepris dans les pays industrialisés confirment une caractéristique indéniable des constructions édifiées dans ces derniers : leur consommation excessive d'énergie de source fossile, constituant ainsi aux problèmes de pollution devenue un souci majeur de l'humanité. D'où l'éclosion de nombreuse démarche tendant soit à réguler cette consommation énergétique à travers l'élaboration et le renforcement de réglementation thermique par exemple, soit s'orienter et promouvoir l'utilisation de systèmes d'énergies renouvelables dans la recherche du confort thermique.

En effet, l'urbanisation rapide a engendré une rupture entre l'architecture et son environnement. Nous observons, par exemple à travers la réalisation d'édifice transparent, l'utilisation excessive du modèle du mur –rideaux, et cela sans prendre en considération les paramètres d'une meilleure conception architecturales soucieuse de la contrainte climatique. Ceci, sans oublier la nécessaire maîtrise des paramètres thermique de l'enveloppe de l'édifice.

La maîtrise des éléments passifs, qui constituent au confort thermique, tels que l'isolation thermique, l'orientation des façades, les ouvertures, la compacité de l'édifice et l'utilisation d'un vitrage à Haute performance thermique, réduira sans aucun doute les déperditions thermiques dont souffrent notamment les édifices à caractère public.

C'est dans cette optique nous inscrivons notre travail sur une stratégies passive celle de l'élément végétal comme revêtement des façades.

Dans cet objectif, notre démarche reposera sur la réalisation des étapes ci – après :

1/Le premier chapitre permet, à travers une large recherche bibliographique, de définir et présenter la notion de mur végétal ; de déterminer ces paramètres, puis un état de l'art concernant ce domaine ainsi que les recherches réalisées jusqu'à maintenant

2/ Le second chapitre : présenter le cas d'étude

3/ Le troisième chapitre porte sur le bilan thermique et les calculs des déperditions thermique

4/ Le quatrième chapitre : porte sur l'application de l'outil informatique utilisé pour la simulation

A la fin, on terminera notre étude par une conclusion générale ou il englobera des recommandations architecturales et techniques qui seront établies pour l'amélioration du confort thermique dans l'habitat.



Chapitre 1 :

Etude bibliographique



Introduction :

De façon générale, la végétalisation des bâtiments permet de composer avec la nature en ville.

« L'inclusion du végétal dans l'architecture restitue la nature dans la proximité que l'on croyait réservée à l'univers de la campagne ou du potager et qui, là, s'offre aux urbains, à tous ceux que la conscience du développement des villes et de la réduction des territoires oblige à repenser la présence de la nature »

Aujourd'hui, les plantes sur les toits et les murs sont de plus en plus intégrées dès la phase de conception de la construction, tandis que des supports allégés et des matériaux modernes facilitent leur diffusion progressive à l'ensemble des projets, de construction neuve comme de réhabilitation.

Les murs végétaux constituent quant à eux une solution de végétalisation dont l'application la plus simple, la façade verte, doit encore être redécouverte, tandis que les applications sophistiquées peuvent être considérées comme des étendards de la nature en ville.

1. Définition et présentation :

Les concepts de mur vivant, mur végétalisé et mur végétal décrivent des jardins ou écosystèmes verticaux, plus ou moins artificiels, conçus tantôt comme éléments esthétiques de décor, dans le cadre de ce que l'on appelle le jardinage urbain, tantôt comme œuvres d'art utilisant le végétal, ou encore comme éléments d'écologie urbaine. Dans ce dernier cas, ces murs, comme les terrasses végétalisées ou les clôtures végétales, peuvent contribuer à la quinzième cible HQE (Haute Qualité Environnementale), ainsi peut-être qu'à la restauration de réseaux de corridors biologiques, en ville notamment.

Le mur végétal est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment à protéger. Selon son orientation et sa composition, le mur vert servira à la fois d'écran contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, l'ensoleillement mais également la pollution. Ils peuvent servir de refuge ou de garde-manger pour les oiseaux, les invertébrés ou les mammifères, mais ils semblent également pouvoir jouer un rôle en matière de microclimat et de qualité de l'air.

La façade végétalisée constitue ainsi une approche complémentaire et innovante de penser l'espace vert en ville. Elle peut se faire soit à partir du sol directement, les racines de plantes grimpantes y puisant leur nourriture et l'eau, soit en intégrant la flore au bâtiment, via des balconnières, des jardinières, ou des systèmes plus complexes de murs végétaux.

2. Historique des murs végétalisés :

La colonisation naturelle de murs par des plantes est habituellement considérée comme un problème, les racines endommageant les mortiers naturels de terre, décollant les briques, favorisant l'humidité du mur, sa sensibilité au gel. En zone tropicale, les arbres peuvent coloniser et recouvrir des architectures telles que celle du temple d'Angkor (figure 1.1) en quelques siècles.



Figure 1.1 : Le temple d'Angkor

Des structures architectoniques artificielles, ciment ou appareils de pierres maçonnées couvertes de mousses et de quelques plantes existent néanmoins depuis plus de 200 ans, dans quelques grands parcs royaux ou municipaux, toujours associés à des fontaines ou cascades. Les "fabriques" romantiques (faux bâtiments anciens, fausses ruines) les ont aussi utilisés au XIXe siècle. Ils ont ensuite été développés par certains zoos et pour le décor de terrariums ou d'aquaterrariums publics ou privés, utilisant généralement des espèces tropicales, avant que le botaniste et chercheur français Patrick Blanc ne crée, teste et développe son concept horticoledu mur végétal sur support de feutre.



Figure 1.2 : Murs végétaux simples de façade

3. Concept :

Le concept de mur ou toit végétal décrit la création d'écosystèmes horizontaux ou verticaux, associés à un bâtiment. Il consiste à recouvrir d'un substrat végétal un toit plat ou à faible pente, jusqu'à 35°, ou un mur.

Outre l'aspect esthétique, ce concept a un avantage non négligeable du point de vue technique, et écologique. Les murs et toits végétaux ont un rôle thermique et phonique important en réduisant à la fois les réflexions et radiations thermiques ou solaires et l'humidité ambiante par évapotranspiration.

Parallèlement, la qualité de l'air ambiant est améliorée grâce à la fixation des poussières et à l'absorption du CO₂ par les plantes. En retenant les eaux pluviales, ils permettent de réduire les pointes de crues. Pour les caves implantées en surface ou semi-enterrées, les murs et toits végétaux font partie intégrante de l'insertion paysagère des bâtiments vitivinicoles dans leur environnement.

La construction d'un mur ou d'un toit végétal doit tout d'abord être adaptée au bâtiment et ne pas le dégrader. Pour cela, il est nécessaire de garantir un drainage permanent quelque soit la charge, en particulier sur les pentes faibles, d'assurer les apports en eau et en air et de mettre en place une protection contre les insectes. Le type de végétaux implanté doit être choisi en fonction du climat de la région, de l'ensoleillement, et de l'insertion dans le paysage

(Figure 1.3).

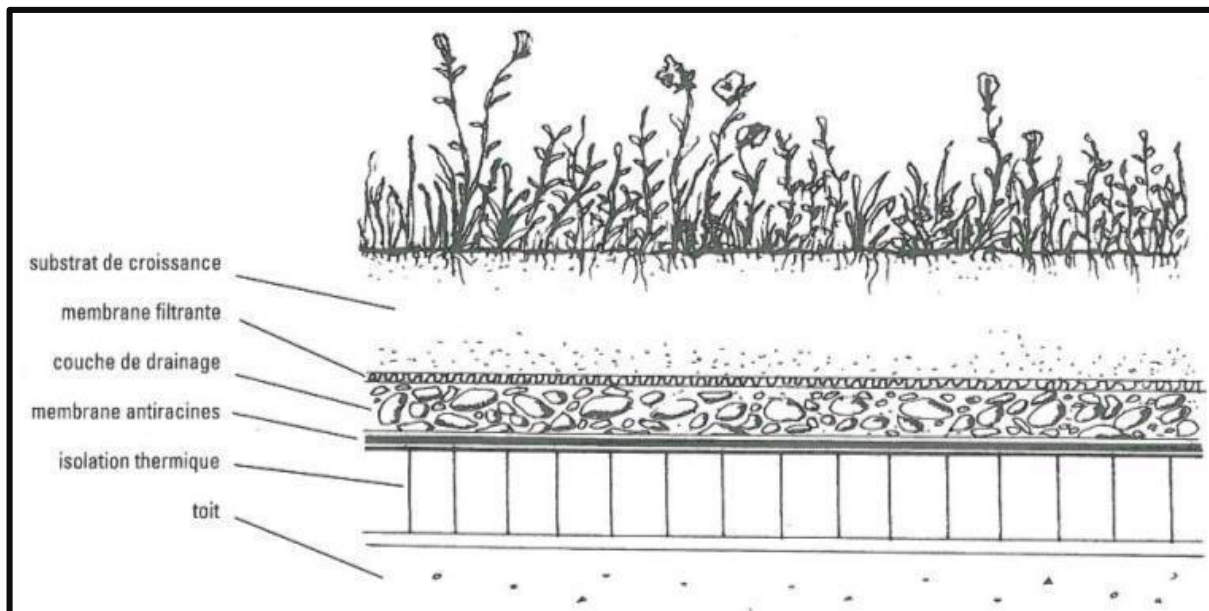


Figure 1.3 : Coupe transversale d'un toit végétal

4. Typologies de parois végétales :

4.1 - Toitures végétalisées :

Le terme « toiture végétalisée » est un terme générique utilisé pour désigner une plantation de végétaux sur un toit (Figure 1.4). L'éco-toit, le toit vivant, le toit 'marron' (Brown roof), le toit vert ou encore la terrasse-jardin sont des termes plus distinctifs mais souvent utilisés indifféremment. Les termes « éco-toit » et « toit vivant » sont propres à des systèmes de végétalisation qui accomplissent un cycle de vie saisonnier tel que la dormance due à la chaleur ou au froid. Le terme « toit marron » est utilisé au Royaume-Uni où la terre récupérée des aménagements de sites urbains a été utilisée comme substrat de culture. Le terme « toit vert » prend deux significations : la première a un sens large qui comprend toute les formes de toitures végétalisées, le second est spécifique aux toitures extensives (Coffman, 2007). Le terme « toit-terrasse » désigne un jardin aménagé sur le toit d'un bâtiment.

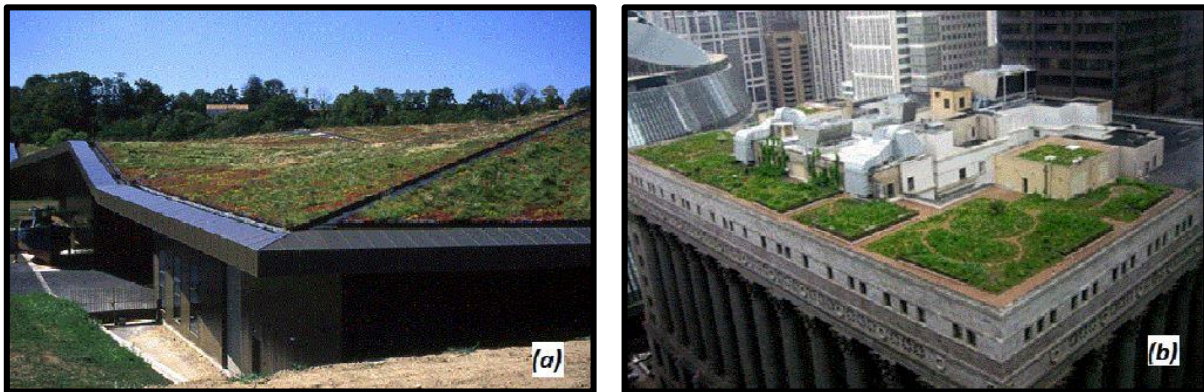


Figure 1.4: (a)Toiture végétalisée de l'Historial de la Vendée, France (b) Toiture végétalisée de l'hôtel de ville de Chicago, Illinois

Une toiture végétalisée est composée en général des éléments suivants (Figure 1.4.) :

- La structure portante : elle correspond à la structure du toit d'origine pour les bâtiments réhabilités. Cette partie peut être fabriquée en béton, en acier ou en bois et doit supporter le poids de l'installation prévue. Cette dernière peut doubler voire tripler lorsque le substrat est saturé. Le surpoids d'une toiture extensive varie entre 72,6-169,4 kg.m⁻² selon l'épaisseur du substrat.
- Une membrane d'étanchéité : de nombreux fabricants recommandent des matériaux d'étanchéité tels que le PVC, le bitume modifié, l'asphalte caoutchouté pour les toitures extensives.
- Une barrière anti-racines: elle protège la membrane d'étanchéité de la pénétration et la dégradation par le système racinaire. Les couches d'étanchéité faites de PVC ou d'EPDM sont impénétrables par les racines et ne nécessitent pas de barrière anti-racines.
- Une couche de drainage : les eaux pluviales doivent être évacuées afin de maintenir des conditions de développement optimal à l'égard des plantes. La couche de drainage peut être composée d'agrégat minéraux, d'une nappe drainante en matériaux recyclés, d'une nappe drainante grillagée ou de plaques de polystyrène alvéolé. La couche de drainage, qui doit être

Légère et durable, est multifonctionnelle car elle assure une rétention supplémentaire d'eau et permet l'aération.

- Un filtre géotextile : ce filtre est rajouté pour éviter le colmatage de la couche de drainage.
- Le substrat de culture : le substrat constitue un support physique des éléments nutritifs pour les plantes. Il doit permettre l'infiltration, la rétention d'une partie des eaux pluviales et l'évacuation du surplus.
- La végétation : le choix des plantes dépend du climat, de la hauteur finale de végétation souhaitée, de la période de floraison et du type de substrat utilisé.

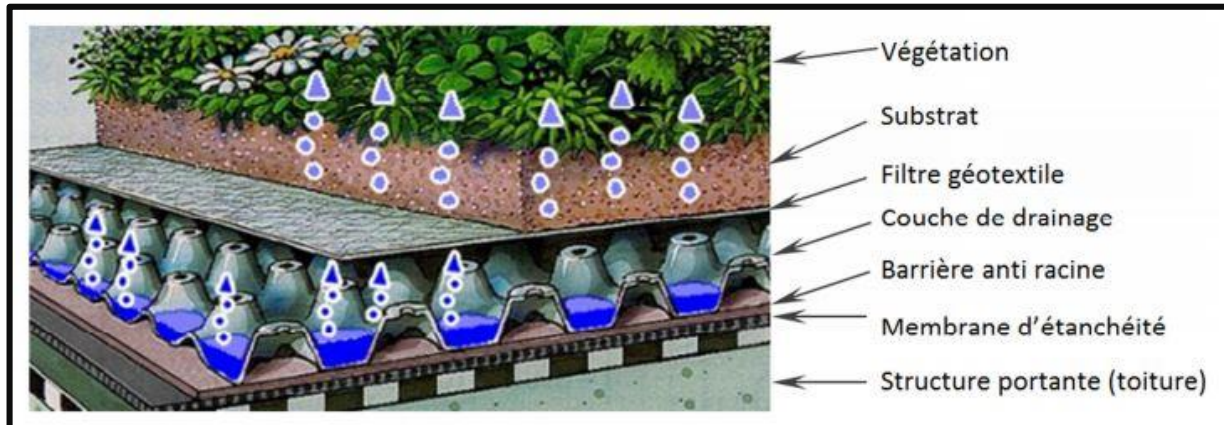


Figure 1.5: Composition typique d'un toit végétalisé

Les toitures végétalisées sont classifiées en deux types selon l'épaisseur de la couche de substrat : toitures végétalisées extensives et toitures végétalisées intensives. Le choix du type de végétation, le poids et les coûts sont différents pour ces deux types.

Le Tableau 1.1 récapitule les avantages de chaque type de toiture sachant que les avantages de l'un sont les inconvénients de l'autre.

Tableau 2.1: Comparaison des toitures intensives et extensive

Toiture extensive	Toiture intensive
Couche de substrat mince (5 à 15 cm) Conditions sévères pour les plantes Diversité restreinte d'espèces végétales	Couche de substrat épaisse (20 à 100 cm) Conditions favorables pour les plantes Grande diversité de plantes adaptées
<p><u>Avantages :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Légèreté de la structure - Adaptées pour les grandes surfaces - Inclinaison jusqu'à 30° - Peu de maintenance et longue durée de vie - Peu d'expertise technique requise - Adaptées pour les projets de réaménagement - Souvent pas de besoin de systèmes d'irrigation ou de drainage spéciaux - Croissance spontanée de la végétation - Moins chère 	<p><u>Avantages :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Bonne isolation - Comparable à un jardin au sol - Peut être très attractif visuellement - Souvent accessible : plusieurs utilisations de la toiture, espace de récréation et de jardinage. - Meilleure efficacité énergétique et plus grande rétention d'eau - Plus longue durée de vie de la membrane

4.2 - Façades végétalisées :

Le « mur vert » ou « mur végétalisé » ou encore le « jardin vertical » sont des termes utilisés pour décrire toute forme de végétalisation verticale. Il existe différentes techniques de végétalisation verticale (Figure 2.4). Les différences structurales entre ces techniques de végétalisation engendrent des comportements thermo-hydriques et aérauliques différents selon le type de façade utilisée. Pour mieux appréhender l'interaction des différentes façades avec les bâtiments et l'environnement extérieur, la description des différentes techniques est nécessaire. Il existe deux typologies de façades végétalisées : les façades végétales et les murs vivants (ou murs végétaux).

Les façades végétales utilisent des plantes grimpantes (Figure 2.5). En général, les plantes

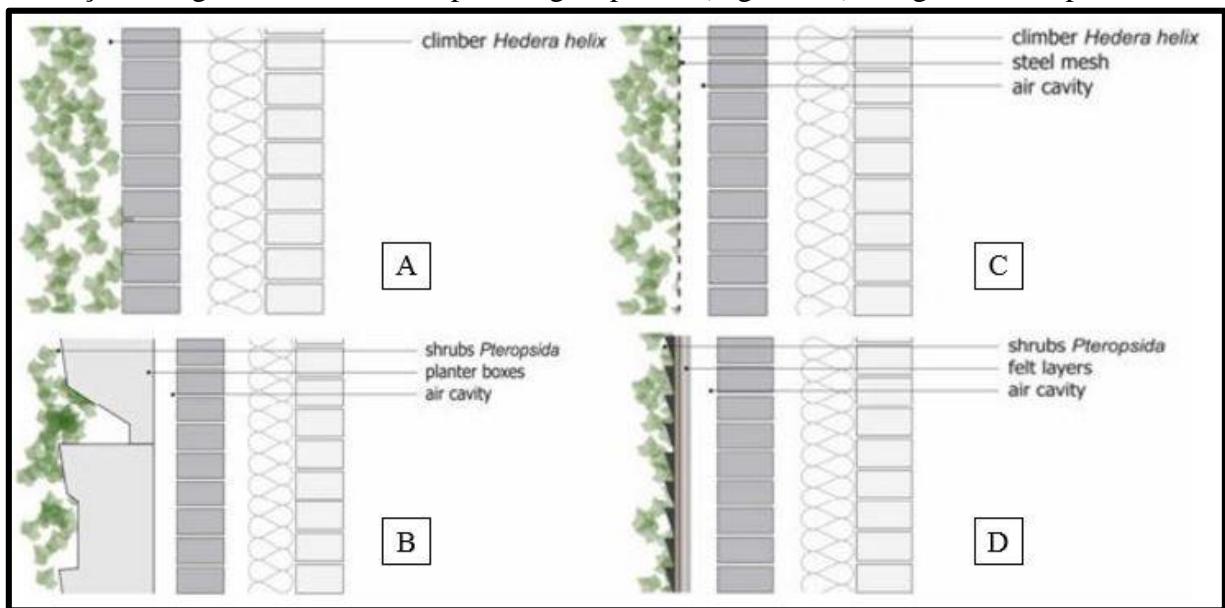


Figure 1.6: Quatre types différents de façades végétalisées : (A) végétalisation directe ; (B) végétalisation indirecte; (C) système de mur vivant avec modules de plantation; (D) système de mur vivant avec une couche feutre hydroponique

sont enracinées au sol mais parfois elles sont cultivées dans des bacs placés en bas ou en haut du mur. Dans ce dernier cas, on parle de végétation tombante. Ces plantes peuvent s'ancrer directement sur le mur (végétalisation directe) ou grimper sur des supports prédisposés (végétalisation indirecte). La végétalisation directe permet de couvrir la façade sans prévoir de structure support. Cependant, les plantes envahissantes peuvent endommager le mur si l'on souhaite les enlever. La végétalisation indirecte permet de séparer la végétation du mur par l'utilisation de treillis ou de filets comme support de plantes.



Figure 1.7: Exemples de façades végétalisées : (a) Mur végétal du musée du quai de Branly; (b) Façades végétales grimpantes du CHU de Leipzig dans la Saxe en Allemagne

Les murs vivants comportent un substrat de culture. Le substrat est soit mis dans des panneaux ou des modules pré-végétalisés que l'on fixe sur le mur soit fabriqué d'un tissu en feutre hydroponique (Figure 1.6 (A)). Les modules peuvent être fabriqués en plastique, en polystyrène expansé, en tissu synthétique, en argile, en métal ou en béton. Le substrat peut être organique ou hydroponique. Les murs végétaux permettent la plantation d'espèces végétales variées. En raison de cette grande diversité végétale, les murs vivants nécessitent un entretien plus fréquent que celui des façades à végétation grimpante. De plus, un arrosage régulier par une solution nutritive est nécessaire pour couvrir les besoins des plantes en eau et en sels minéraux. L'arrosage s'opère à différents niveaux le long du mur, et utilise la gravité pour apporter l'eau à toute la surface.

La technique de végétalisation utilisée détermine la nature des transferts hygrothermiques mises en jeux et par conséquent l'ampleur des impacts énergétiques et environnementaux occasionnés par la paroi végétale. En effet l'existence ou l'inexistence d'une couche de substrat détermine si les échanges thermiques s'établissent directement entre la végétation et la façade du bâtiment ou non. Le substrat interagit avec les feuilles et l'environnement, dissipe par évaporation directe une partie supplémentaire de l'énergie reçue par la façade et augmente la résistance et l'inertie thermiques de la paroi. De même, la lame d'air formée par les supports de fixation modifie, lorsqu'elle existe, la nature du transfert thermique entre les modules et la façade du bâtiment. L'espacement entre ces éléments donne lieu à des échanges radiatifs de grandes longueurs d'onde et à des flux thermiques sensibles et latents.

5. Impacts environnementaux de la végétalisation :

La végétalisation des bâtiments impacte la micro-météorologie, l'hydrologie, l'écologie et la société urbaines. Ses bénéfices sont ressentis sur les domaines public et privé.

Ceci permet de réaliser des économies de fonds aussi bien sur les coûts initiaux d'investissement que sur les coûts de fonctionnement et les dépenses annuelles

Cette partie présente les avantages de la végétalisation autres que les impacts thermiques.

5.1 - Aspects sociologiques et psychologiques :

L'introduction du végétal dans l'environnement urbain présente des avantages esthétiques et psychologiques. L'accessibilité visuelle des toitures et des façades végétalisées apaise les citadins et procure détente et récréation.

Ceci peut même avoir des conséquences positives sur la santé publique, sur la concentration des travailleurs ou sur la réussite scolaire. En effet, les sociétés urbanisées préfèrent conserver un contact avec la nature car elle réduit le stress et restaure l'intégrité psychologique.

Une étude statistique a été réalisée sur la perception de la végétalisation des bâtiments par les habitants de Londres dans le but de déterminer si l'esthétique des parois végétales peut promouvoir les projets de réhabilitation. Les conclusions de l'étude affirment que la perception la beauté d'un bâtiment par les individus est supérieure lorsque ce dernier est végétalisé.



Figure 1.8 : Musée du Quai Branly



Figure 1.9 : Mur couvert par de la vigne vierge

5.2 - L'influence de la façade végétalisée sur le confort acoustique :

La végétalisation des enveloppes des bâtiments permet d'améliorer l'isolation acoustique. Les couches de l'enveloppe végétale formées par le substrat, le feuillage et l'air permettent d'amortir le bruit désagréable extérieur provenant des machines, la circulation routière et du transport aérien. Le substrat bloque le bruit de basses fréquences tandis que le feuillage bloque les hautes fréquences. Une couche de 12 cm de substrat peut réduire le bruit de 40 dB et une couche de 20 cm peut le réduire jusqu'à 50 dB

Une étude a été faite afin de réaliser des simulations numériques de la propagation du son à partir d'une rue canyon vers une cour intérieure. Ils ont trouvé que l'utilisation des toitures végétales présente un grand potentiel pour améliorer la tranquillité dans la cour intérieure. Sur certaines configurations favorables la réduction du bruit offerte par les toitures végétales atteint jusqu'à 7,5 dB. Toujours d'après dans cette étude, l'impact des façades végétales dépend fortement des propriétés phoniques de celles-ci. Elles peuvent avoir un impact significatif surtout en partie haute du mur. Les murs végétaux acoustiquement mous sont plus efficaces pour réduire le bruit provenant de la rue. (Figure 1.10)

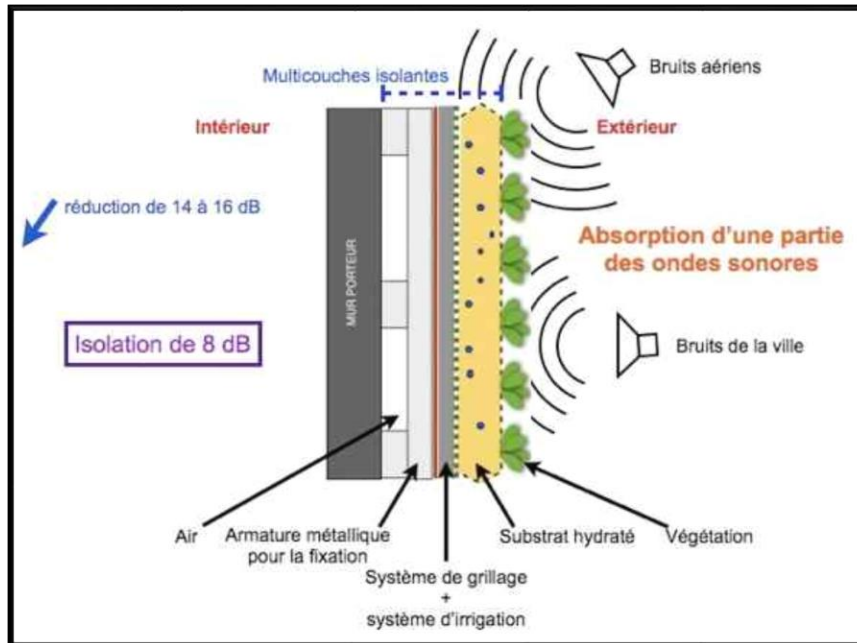


Figure 1.10 : l'influence de la façade végétalisée sur le confort acoustique

5.3- Dépollution atmosphérique :

La dépollution et l'amélioration de la qualité de l'air urbain est l'un des avantages de la végétalisation. La végétation permet la fixation de plusieurs polluants.

La végétalisation des façades offre une surface végétale supplémentaire et significative pour l'épuration de l'air et la production d'oxygène.

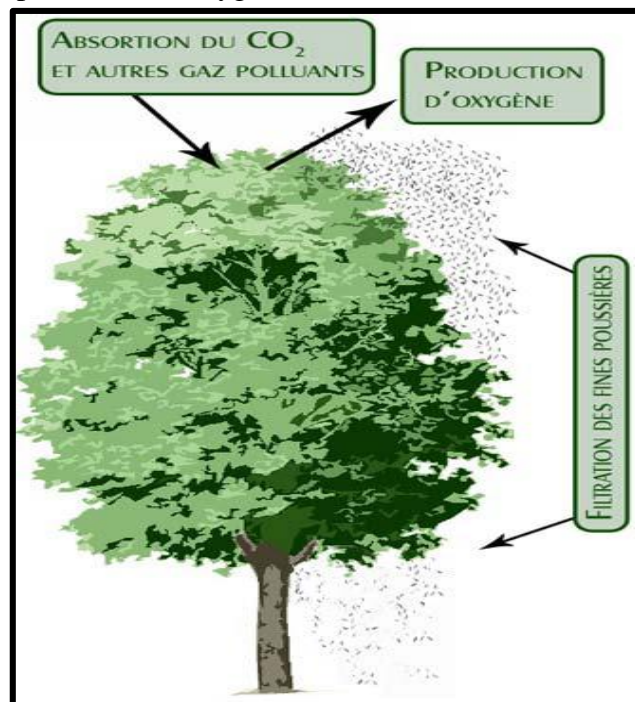


Figure 1.11 : l'influence de la façade végétalisée sur le confort olfactif

5.4 - L'îlot de chaleur urbain :

La végétalisation des bâtiments permet d'avoir une influence sur les causes de l'îlot de chaleur urbain :

- en protégeant les bâtiments du rayonnement solaire ce qui diminue ainsi le phénomène de stockage de chaleur pendant la journée et le réchauffement nocturne de l'air,
- en consommant de l'énergie par évapotranspiration: rafraîchissement de l'air et diminution des températures de surface.

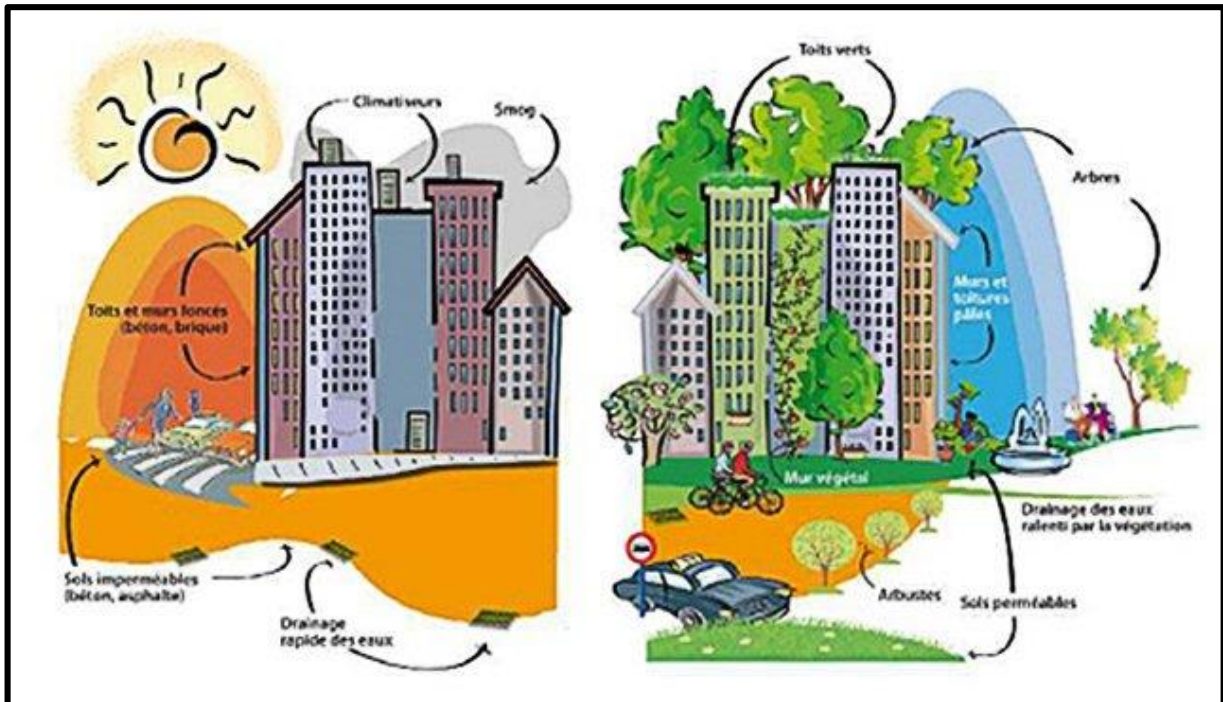


Figure 1.12 : l'influence de la façade végétalisée sur l'îlot de chaleur urbain

6. L'influence de Mur végétalisé sur le comportement thermique de l'habitat :

Selon leurs typologies, les végétaux peuvent être de type caduc ou persistant.

- **Les végétaux à feuilles persistantes** : maintiennent leurs feuilles tout au long de l'année. Ce qui permet une protection annuelle. Ce type est recommandé dans les régions chaudes et sèches.

- **Les végétaux à feuilles caduques** : ils perdent leurs feuilles en automne et sont suspendant les mois les plus froids de l'année. Ce qui permet au soleil de traverser et de chauffer l'enveloppe des bâtiments à partir de novembre à mars.

En été, ils retiennent largement le rayonnement, ce qui procure un ombrage saisonnier.

Donc c'est une végétation qui pousse au printemps, protège en été et perd ses feuilles à l'automne et en hiver.

Ces plantes sont plutôt favorables pour les climats semi-arides où la radiation solaire est très prisée en hiver.

6.1 - Le rôle de la végétation à feuillage caduc sur les ambiances microclimatiques saisonnières :



Figure 1.13 : Comportement de la végétation à feuillage caduc sur les ambiances microclimatiques saisonnières

En Automne : une chute des feuilles pressé en automne

En hiver : L'absence des feuilles permet le captage solaire

En printemps : une feuillaison attardée au printemps

En été : la création d'ombres, l'humidification de l'air, la ventilation

6.2 - Confort thermique dans la végétation à feuillage caduc:

L'implantation d'un mur végétal va avoir une réelle incidence sur l'isolation d'une maison et sur ses performances thermiques. Avec cette « seconde couverture » des façades, le mur bénéficie d'une défense supplémentaire contre les changements climatiques, qui vont alors avoir moins d'impact sur les parois et l'intérieur. Les parois vont également profiter de cette protection végétale, puisqu'elles résisteront mieux face aux chaleurs estivales en se rafraîchissant d'environ 15 °C. En réduisant l'effet de l'ensoleillement sur le bâtiment, le mur végétalisé apporte de la fraîcheur et permet ainsi de réduire toute dépense énergétique liée à l'utilisation d'une climatisation ou de ventilateurs. En période hivernale, s'il s'agit de plantes vivaces, le feuillage de ces végétaux grimpants va empêcher le froid de réduire la température intérieure de l'habitation.

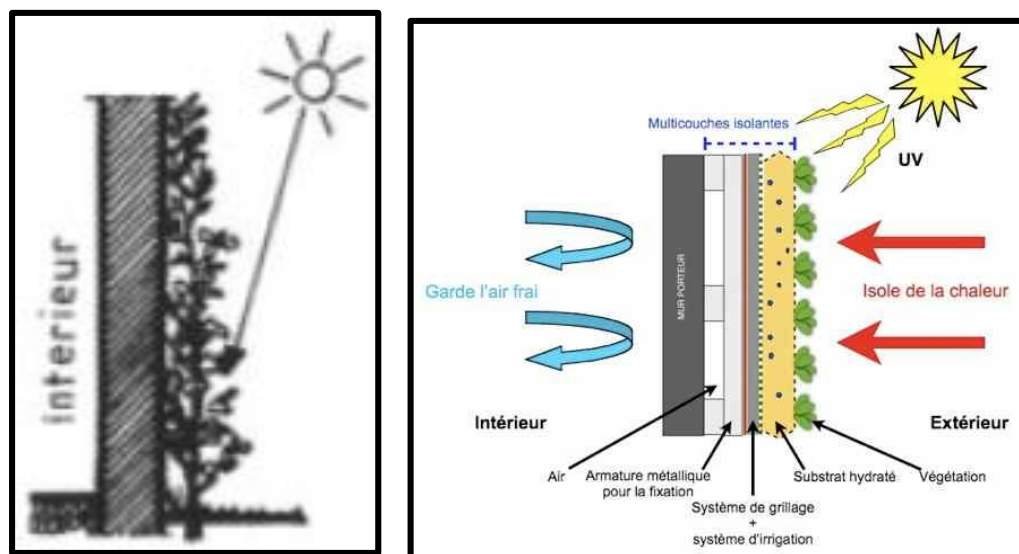


Figure 1.14 : l'influence de la façade végétalisée sur le confort thermique

7. La mise en œuvre des murs végétalisés :

Les murs végétalisés peuvent être aménagés en différents types de mise en œuvre

7.1 - Les différents types de la mise en œuvre des murs végétalisés :

7.1.A- Principe de la végétalisation d'une façade :

Le principe s'appuie sur le fait qu'en l'absence d'intervention humaine, en présence d'air propre et d'une humidité suffisante de l'air, tout support tend à être naturellement colonisé par des bactéries (biofilm), des algues, puis des mousses et des lichens, avant l'apparition de petites plantes, qui sont généralement aussi des épiphytes des arbres. Dans le cas où le mur reste sec, ou en atmosphère plus sèche, il peut également être colonisé par des plantes grimpantes (lierre, vigne vierge en climat tempéré). A partir du sol, seules certaines variétés de plantes grimpantes prennent racine au pied des murs et peuvent atteindre 30m de hauteur. Ce sont des variétés voisines appartenant à la famille des vitacées et aux genres Parthenocissus, Ampelopsis et Cissus. Ce sont en général des plantes utilisées comme couvre murs, à feuilles caduques. Au printemps les petites feuilles qui apparaissent sont vert tendre ou pourpre selon la variété, en été leur couleur fonce, en automne, par exemple, la vigne vierge atteint toute sa splendeur en virant à l'écarlate, il n'y a généralement guère que l'hiver qu'elle n'assure pas le spectacle.

Ces plantes peuvent s'agripper aux murs de diverses manières :

- Soit en utilisant leurs racines (comme le lierre) ou leurs pelotes adhésives (comme la vigne vierge du Japon). Ces plantes peuvent ne pas convenir aux murs maçonnés (à la chaux hydraulique comme à la terre naturelle) car ceux-ci sont assez humides pour permettre aux racines de s'y introduire.



Figure 1.15 : Des pelotes adhésives



Figure 1.16 : Mur couvert par de la vigne vierge

-Soit en s'appuyant sur un support, avec ou sans l'aide de leurs ventouses (comme la 'quinquefolia'). Lorsque le support (en treillis (en acier galvanisé, bois...), câble tendu ou autres formes) est décalé du mur, il constitue avec ce dernier un espace tampon. Une fois la végétation bien développée, cette façade double peau contribue à régulariser thermiquement le bâtiment. Elle le protège des contraintes météorologiques (pluie, soleil, vent...). Ce procédé, bien qu'il soit plus complexe à mettre en œuvre que le mur apposé de plantes grimpantes, avec un coût plus élevé et un entretien nécessaire un peu plus régulier, participe plus à l'enrichissement de la biodiversité et son impact sur la qualité de l'air est plus important.

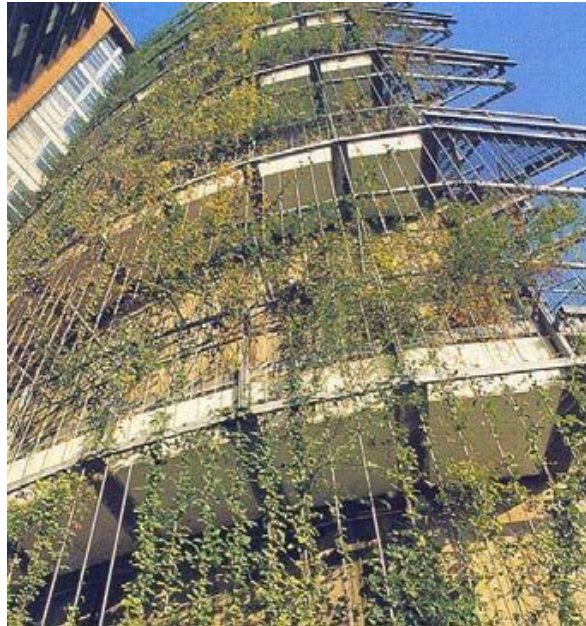


Figure 1.17 : Hôpital de Hullier à Lille – photo : S. Stefulesco

En dehors de ces deux techniques simples mais efficaces, des techniques sophistiquées dites de "génie végétal" optimisent les conditions de colonisation et de pousse de plantes hors sol, grâce à des supports de feutre synthétique ou sur des blocs de substrat dans lesquels circule de l'eau enrichie en sels nutritifs.

7.1.B- Principe du mur végétal sur nappe horticole :

Le support est imperméabilisé par une bâche comme celle que l'on utilise pour les bassins et l'irrigation est assurée via une pompe immergée dans la réserve située en bas. (Figure 1.18)

C'est dans celle-ci que reviennent les eaux de ruissellement après leur trajet sur le mur.

Le mur végétal est constitué d'une structure solide verticale, servant de support, construite parallèlement à la façade du bâtiment. La structure permet de laisser un coussin d'air entre la façade du bâtiment et le mur végétalisé. Sur cette ossature métallique (préférentiellement de l'acier, car non corrosif et léger) sont fixées des plaques de PVC expansé de 10 mm d'épaisseur, ainsi le mur est bien séparé de la partie humide. Une bâche en EPDM (Éthylène Propylène Diène Monomère) couvre le support pour l'imperméabiliser.

Ensuite, des plaques de feutre de polyamide (plus résistant qu'un feutre naturel) sont agrafées dessus; d'une épaisseur d'environ 6mm elles servent de support aux plantes, les racines s'incrustant et se fixant dans la matière. Ces couches de feutre miment en quelque sorte les mousses qui se développent sur les parois rocheuses et qui servent de support aux racines des plantes. La plantation se fait facilement en incisant au cutter le feutre et en y implantant la micro-motte avec le plant.

L'alimentation en eau et en matières nutritives se fait par un réseau de tuyaux commandés par des électrovannes, situé en partie supérieure de la structure. La solution nutritive s'écoule le long du mur par gravité et s'infiltré dans le feutre par capillarité. De cette façon les racines ne prélèvent que ce dont elles ont besoin et ne sont pas noyées. La solution appauvrie en éléments nutritifs est récupérée au pied du mur et réinjectée en haut après avoir été réalimentée. Ce système fonctionne en circuit fermé. L'eau de pluie peut très bien être utilisée à cet effet. La consommation d'eau est d'environ 200 litres d'eau/m²/an.

7.1.C- Principe du mur végétal monobloc :

Ce procédé repose sur un assemblage de cellules en maillage d'acier galvanisé, remplies d'un substrat stable et léger composé d'un mélange de matières organiques et minérales.

Ces cellules sont de plus ou moins grande taille fixées sur une structure métallique. L'épaisseur de la structure du mur végétal peut aller de 5 à 8 cm environ. Le mur végétalisé se distingue par son caractère autoportant et sa conception monobloc. L'absence de rupture dans le remplissage de substrat permet une meilleure répartition de l'eau et évite les ponts thermiques et phoniques.

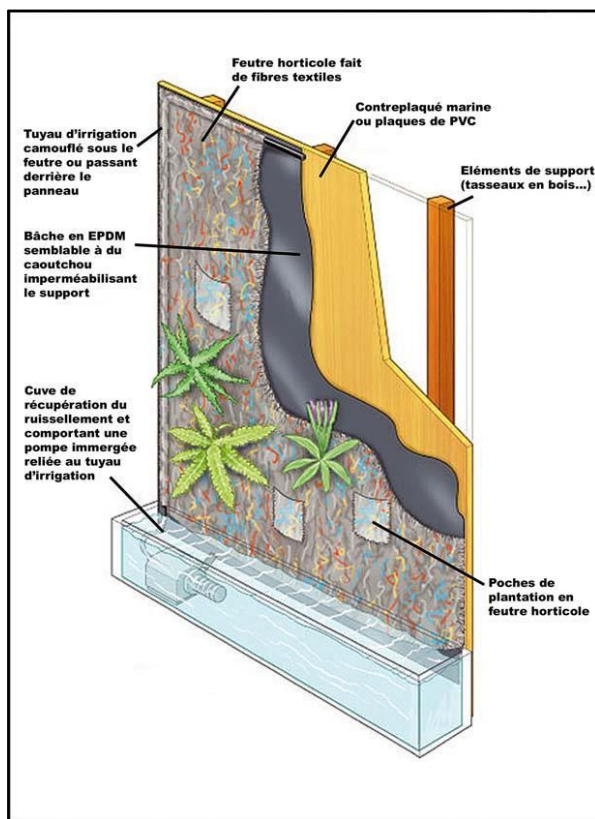


Figure 1.18 : Composition d'un mur végétal sur nappe horticole

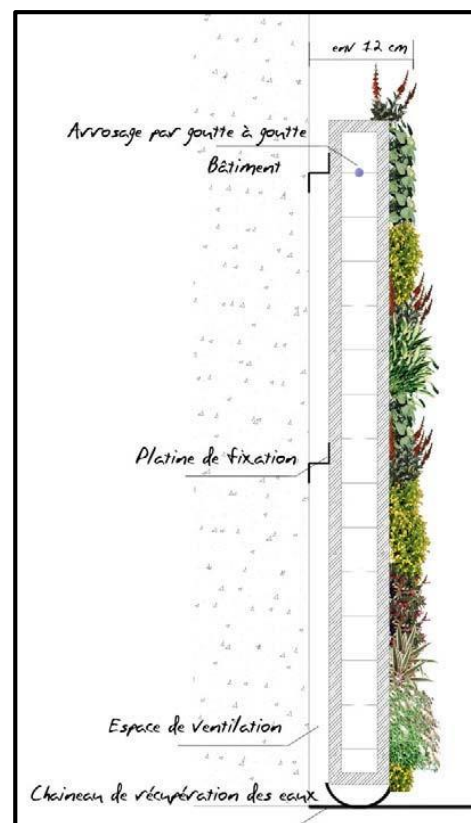


Figure 1.19 : Structure d'un mur végétal

7.2- La culture de la végétation :

Substrat: une terre légère de culture, le type de substrat le plus utilisé la Sphaigne.

Une variété de substrat naturel se distingue des autres. Il s'agit de la Sphaigne originaire de l'île de Chiloé, à l'ouest du Chili. C'est une mousse possédant des propriétés remarquables. Sa grande capacité de rétention d'eau sans perte de volume dans le temps, ses caractères antibactériens et inodores résultant d'un pH naturellement acide et son efficacité en termes d'isolation thermique et phonique, font d'elle le substrat idéal pour murs végétaux en intérieur, façades végétalisées et toitures végétales à l'extérieur. La sphaigne est un substrat qui ne se tasse pas facilement et résiste car il est fibreux. Les végétaux plantés directement dans la sphaigne colonisent le mur rapidement.

L'utilisation de la sphaigne présente d'autres avantages :

- le gain de temps, car aucun désherbage n'est nécessaire
- propre et sans odeur particulière, le mur en sphaigne peut être situé dans des espaces intérieurs, comme au jardin.

Les végétaux (densité de plantation de 30 à 80 plantes par m²) prennent racine dans une épaisseur importante de substrat, 20 cm au minimum, à fort pouvoir de rétention en eau qui ne nécessite pas un arrosage et une fertilisation permanente.

Le substrat maintenu à l'intérieur du support par une toile impuiescible peut accueillir une gamme végétale très large. Le choix des espèces de plantes tient compte des conditions climatiques du site d'installation. Dans la plus part des cas, l'assemblage du mur et la plantation des végétaux sont réalisés directement sur site (pas de pré-culture).



Figure 1.20: Mise en œuvre du Substrat

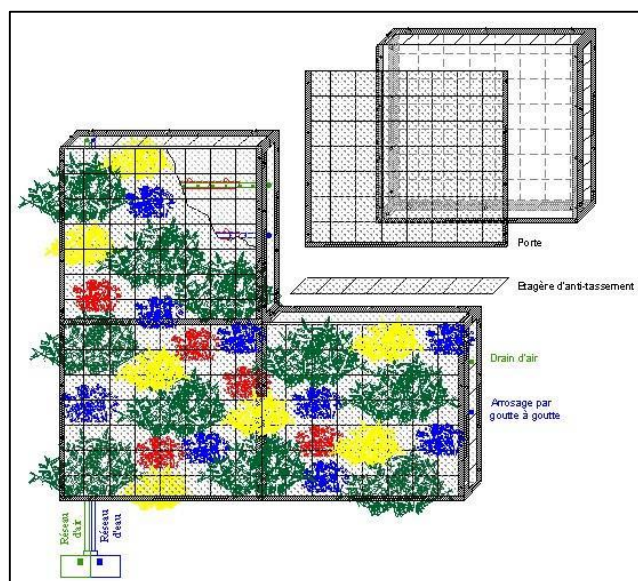


Figure 1.21 : Composition d'un mur végétal monobloc

8. Les avantages des murs végétalisés :

Le mur végétalisé présente plusieurs avantages :

- Diminution de l'effet 'Ilot de chaleur' : 'Les villes vont devoir se préparer au changement climatique : une végétalisation abondante des tissus urbains permettra de réduire les effets dramatiques des vagues de chaleur sur la santé humaine.

Plusieurs études font état de l'importance primordiale de la végétalisation et de la protection des espaces verts et boisés actuels afin de lutter contre l'effet d'îlot thermique urbain.

En effet, la végétation permet de créer de la fraîcheur par différents processus, plus précisément par :

- L'ombrage saisonnier des infrastructures.
- L'évapotranspiration.
- La minimisation des écarts de température au sol.

- Il protège le bâtiment contre l'effet corrosif des pollutions urbaines (pluie acide, pollution atmosphérique) et contre l'humidité (acide, en ville), en offrant une surface imperméable à la pluie. En effet, la disposition "en tuile" des feuilles de certaines grimpances, telles que le lierre, permet de protéger presque totalement le mur de la pluie.

- Dans le cas de plantes poussant à partir du sol, les racines participent à son assèchement à proximité des fondations.

- La végétalisation des façades offre une surface végétale supplémentaire et significative pour l'épuration de l'air et la production d'oxygène.

- Certains murs anti-bruit sont végétalisés, augmentant leur fonction dé-stressante. Le feuillage seul est réputé inefficace (une épaisseur de 10 m de feuillage d'arbres ne réduit un son puissant que d'à peine 1 dba), cependant le bruit du vent dans les feuilles et celui des oiseaux (comme celui des fontaines) ont des vertus psychologiquement apaisantes, et sans vraiment cacher le bruit ambiant, ils le rendent plus supportable.

- Intérêt visuel et esthétique : les murs végétalisés ont des qualités esthétiques indéniables. Les plus élaborés sont d'ailleurs comparés à des peintures, de paysage ou abstraites. Sur un bâti existant sans qualité notable, la plus simple des façades vertes contribuera à changer positivement l'image du bâtiment.

- Biodiversité : participant à la préservation de la biodiversité floristique et faunistique en milieu urbain, par les plantes utilisées comme par les espèces de faune qui viennent y trouver leur habitat, la question de l'entretien des murs végétalisés doit respecter certains principes. Il faut éviter d'opérer sur la façade pendant les périodes de nidification ou les périodes de froid hivernal pendant lesquelles la végétation sert d'abri pour de nombreux invertébrés.

8.1 -Le confort été/hiver :

Le mur végétalisé permet une meilleure régulation thermique du bâtiment. Lors de la fixation du cadre végétalisé sur un mur existant, il y a création d'un coussin d'air de quelques centimètres entre la façade du bâtiment et le mur végétalisé. Ceci assure un peu d'isolation contre le froid en hiver, mais surtout contre la chaleur en été car l'ensoleillement est réduit et l'évapotranspiration diminue les températures. La température maximale des murs végétaux

est de 30 °C, alors que les murs classiques peuvent atteindre 60 °C en fonction du type de revêtement. Sandifer et Givoni (2002) ont évalué l'effet rafraîchissant de la vigne vierge sur un mur. Ils ont observé des réductions de températures allant jusqu'à 20°C, comparativement à un mur non ombragé.

La simple végétalisation d'une façade constitue donc une réponse très efficace aux problèmes des grandes chaleurs en milieu urbain, pour un coût minime.

L'évapotranspiration du lierre ou d'autres grimpantes contribue au rafraîchissement de l'air et à une régulation de l'hygrométrie. En hiver et dans ce dernier cas, ce couvert végétal seul ne peut jouer un véritable rôle d'isolant, mais en asséchant les fondations et en protégeant les murs de la pluie (grâce à l'orientation des feuilles et à leur densité dans le cas du lierre), il les rend plus isolants.

9. La maintenance des murs végétalisés :

Afin de préserver au maximum le potentiel de végétalisation des façades, le mur doit conserver ses irrégularités, sans altérer l'état général de la surface. Faire grimper du lierre sur un mur dont les joints sont abîmés (joints sableux) peut être dommageable pour la surface.

Une attention particulière doit être apportée à l'entretien des façades et structures végétalisées. Si les plantes grimpantes ou la flore des terrasses extensives sont rustiques et ne nécessitent ni arrosage ni engrais, il faut cependant respecter les points suivants :

- Les plantes grimpantes ne doivent pas atteindre les tuiles ou ardoises, ni les gouttières. Si leurs feuilles mortes bouchaient ou freinaient l'évacuation des eaux pluviales, celles-ci pourraient déborder et s'écouler le long des façades, au risque d'altérer les matériaux, de favoriser la pénétration de racines et l'implantation de fougères, graminées, voire de plantes buissonnantes ou d'arbres dans les ciments de mauvaise qualité ou composés de chaux hydraulique naturelle, ou de terre.
- De la même façon, il faut tailler régulièrement les végétaux autour des ouvertures, prises d'air, cheminées, de manière à ce que la végétation ne guide pas des espèces indésirables ou invasives vers les espaces intérieurs (insectes comme les fourmis ou araignées...). Un filtre de type moustiquaire peut protéger les prises d'air.

Généralement, ces façades végétalisées exigent :

- un entretien bisannuel pour les jeunes plantes.
- un entretien annuel pour les plantes bien développées.
- une vérification des supports et fixations tous les 5 ans. Dans le cas de fils et câbles, ils seront retendus tous les ans.

10. Inconvénients :

Les murs végétalisés présentent certains inconvénients :

- L'aménageur doit prendre en compte les problèmes qui peuvent être posés par l'humidité (salissures par les spores de fougères, de mousses et de champignons, risques de court-circuit en cas d'éclairage artificiel, de chauffage, présence de pompes, etc.), et par le poids des végétaux qui grandissent.

- Ces murs peuvent aussi être colonisés par une faune d'invertébrés tolérés ou souhaités en aquaterrarium, mais non désirés dans une habitation ou un lieu public. Dans le cas de murs végétaux, le mur ou le support, s'ils ne sont pas conçus par l'architecte pour résister à l'eau enrichie de nutriments, doivent en être protégés.
- Certains murs maçonnés à la terre ou à la chaux hydraulique doivent être protégés de la pénétration de racines susceptibles de les dégrader. Un entretien et des vérifications régulières sont nécessaires.
- En cas d'utilisation de plantes exotiques, afin d'éviter d'importer des organismes indésirables ou microbes pathogènes, il est recommandé de travailler avec des horticulteurs spécialisés et des plantes dont l'origine est traçable et légale.

11. Performances de refroidissement des plantes grimpantes :

Plusieurs études ont été menées à travers le monde concernant l'effet d'une variété de plantes grimpantes sur le confort thermique des bâtiments. Elles se résument comme suit :

11.1- Effets thermiques des murs couverts de lierre :

11.1.1. Expérience à Hong Kong:

Les écrans de lierre sur les bâtiments, comme dispositif architectural agréable, sont répandus dans l'ensemble de la Chine, particulièrement dans les régions subtropicales

Dans le but de définir comment ces techniques de plantation affectent l'environnement thermique du bâtiment ou de la façon dont elles produisent des économies d'énergie dans les bâtiments, une méthode numérique a été, alors, simplifiée par Zaiyi et Niu en 2000

Une série d'analyse de paramètres a été effectuée pour identifier les facteurs principaux affectant le potentiel des écrans de lierre afin d'optimiser les effets climatologiques de ces derniers dans les bâtiments. Cette étude vise à obtenir les variables influençant la fonction du mur végétalisé qui est constitué essentiellement de trois composantes clés (Figure 1.22):



Figure 1.22 : Model du mur couvert de lierre

La couche de lierre est caractérisée par :

- Le rapport de couverture (r) : qui représente le pourcentage de la surface couverte du mur.
- La densité verte (d) : qui représente la superficie des feuilles et les principaux processus contribuant à déterminer l'état thermique de cette couche:
- Le rayonnement solaire absorbé par les feuilles.
- L'échange radiatif de grande longueur d'onde entre les feuilles, le ciel et l'environnement.
- Le transfert de chaleur convectif entre l'air libre (en dehors de la couche) et l'air dans la couche.
- La transpiration dans les feuilles.
- La photosynthèse qui convertit l'énergie solaire absorbée en une bioénergie.

La grille de support: qui représente une grille en métal supportant le lierre grimpant sur le mur, caractérisé par la hauteur de la grille (H).

Le mur externe: qui est considéré comme couche homogène d'un matériau massif.

Afin de calculer le flux de chaleur (HF) provenant du mur externe, différentes combinaisons des données de (r , d , H) ont été établies pour analyser l'impact d'une variable sur la performance thermique du mur, et les conclusions furent les suivantes :

- Le flux de chaleur dépend considérablement de H , d , et r ;
- Pour un certain niveau de densité verte, le flux de chaleur (HF) dépend considérablement de H : Plus la hauteur de la grille de racine est grande, plus le flux de chaleur est élevé, ce qui augmente alternativement la convection thermique de l'air au mur(Figure 1.23).

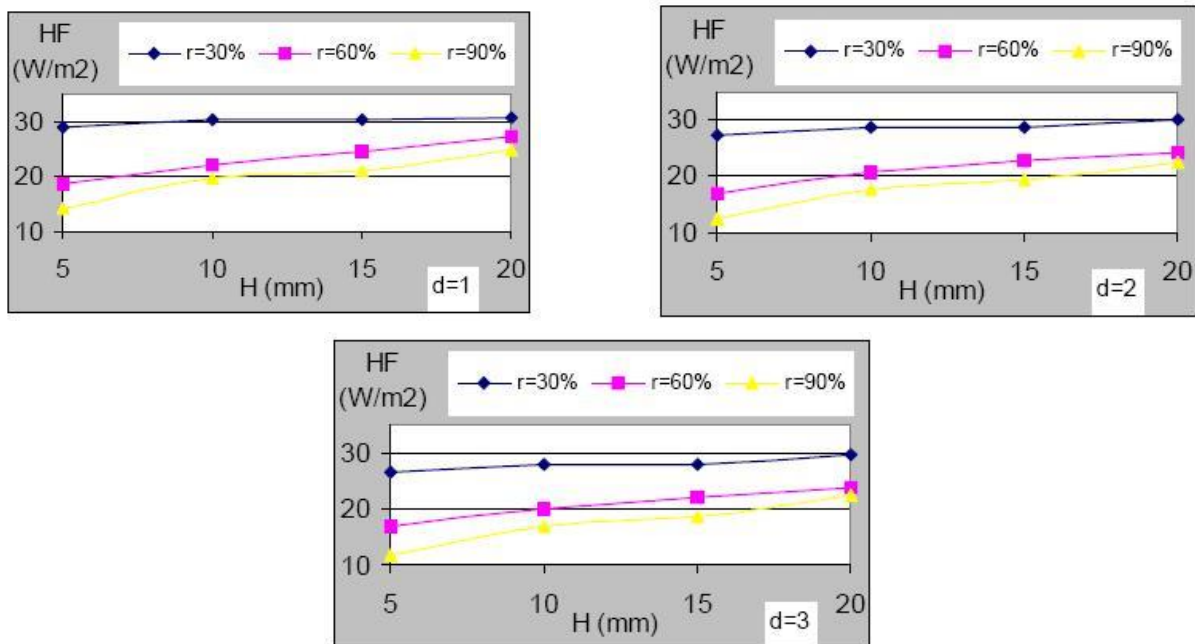


Figure 1.23: Relation entre HF et rapport de couverture (r)

Cette analyse indique que le lierre comme revêtement sur des bâtiments, peut protéger les murs externes contre le rayonnement solaire direct et pourrait le refroidir par évaporation. Le lierre transforme plus de 70% de l'énergie solaire absorbée dans la bioénergie via la photosynthèse, sans augmenter considérablement sa température

Ceci a pour conséquence un bas rayonnement de grande longueur d'onde entre le feuillage et les surfaces des murs externes ombragés sous le lierre.

11.1.2. Expérience à Pékin :

L'effet de refroidissement du lierre et les mécanismes de transfert thermique entre les plantes et le mur ont également été étudiés par Di et Wang 1999 qui ont choisi la bibliothèque de Tsinghua à Pékin pour effectuer leur expérience (Figure 1.24) : un bâtiment à deux étages dont les murs externes orientés ouest et sud sont couverts de lierre épais.

L'expérience a été répétée au même emplacement pendant deux étés successifs, en 1996 et 1997.



Figure 1.24: Vue Ouest de la bibliothèque d'université de Tsinghua

A cet effet, plusieurs instruments ont été employés pour effectuer des mesures de température, de rayonnement solaire, de flux de chaleur, de vitesse du vent à plusieurs points à la même hauteur et à différentes distances du mur. Les points mesurés étaient sur la surface du mur,

5 cm loin du mur, sur la feuille, 5 cm de la feuille, et 10 cm de la feuille. La température intérieure et extérieure a été également mesurée. Une comparaison avec un mur nu exposé directement au soleil a été utilisée comme témoin avec un système semblable de mesure Figure 1.25

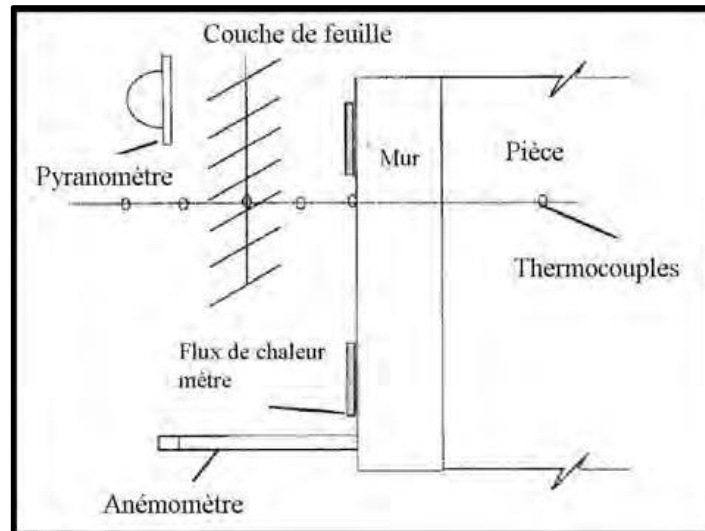


Figure 1.25: Installation expérimentale

En outre, les effets des procédés de transfert thermique du jour et de la nuit ont été considérés pour évaluer l'effet du mur vert sur l'environnement intérieur. Pour cela, plusieurs formules relatives à la couche de lierre, le mur de lierre, et le mur nu ont été employées afin de calculer les transferts d'énergie dans le système à savoir : le rayonnement de grande longueur d'onde, la chaleur latente, et le transfert de chaleur de convection.

Par conséquent, il a été constaté que la température moyenne des feuilles était 4.5°C inférieure à celle du mur nu exposé directement au soleil (figure 1.26). Pour la couche de feuille, l'évaporation et la convection thermique des deux côtés ont réduit la température des feuilles, la rendant inférieure à celle du mur exposé. Ainsi, le flux de chaleur au mur vert représentait la moitié de celui du mur nu.

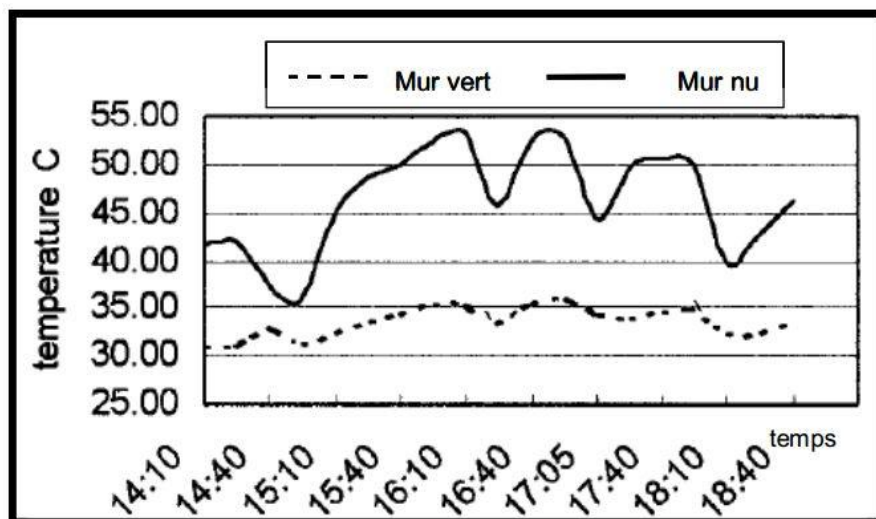


Figure 1.26: Variation des températures pendant le jour

Di et Wang rajoutent que les plantes vertes réduisent la charge de refroidissement transférée par le mur ouest par 28%, un jour clair d'été. Puisque le mur ouest reçoit plus de chaleur que d'autres surfaces en été, la charge de climatisation serait réduite sensiblement par l'écran de lierre. En plus, le mur vert réduit le gain de la chaleur en absorbant et en reflétant le rayonnement solaire : 40% de l'énergie absorbée par les feuilles sont perdues par convection, 42% par transpiration, et le reste par rayonnement de grande longueur d'onde à l'environnement (Figure 1.27).

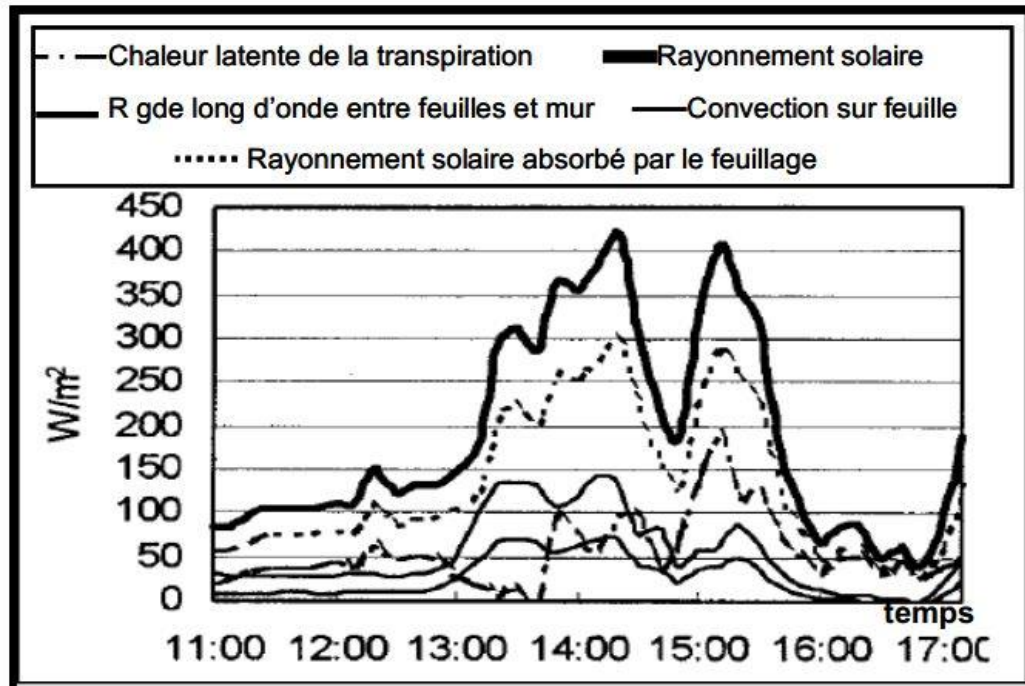


Figure 1.27: Transfert d'énergie à la couche de feuilles le 24-07-1996

11.1.3. Expérience au Japon :

Dans les années 1980, Akira Hoyano a conduit une étude expérimentale sur les effets d'une protection solaire de lierre japonais couvrant un mur ouest en béton, en comparant les températures à travers le mur avant et après couverture en lierre durant la saison estivale. Les températures des feuilles de lierre, les températures de l'air, et les températures à travers le mur, ont été mesurées dans cette étude.

La figure 1.28 montre que bien que sans lierre, un flux de chaleur maximal de $200 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ a été transféré, alors qu'avec l'écran de lierre, celui-ci est réduit d'un quart. D'ailleurs, la transmission solaire à travers l'écran végétal est inversement proportionnelle au ratio de couverture de lierre par rapport à la surface du mur.

Watson et Camous, 1986, rajoutent qu'une couche de lierre montée sur treillis permet de réduire de 50% le rayonnement solaire qui frapperait le mur avec une réduction du gain de chaleur d'environ $550 \text{ kilojoules par m}^2$ (0.15 kWh/m^2) pour un mur ouest au cours d'une journée d'été.

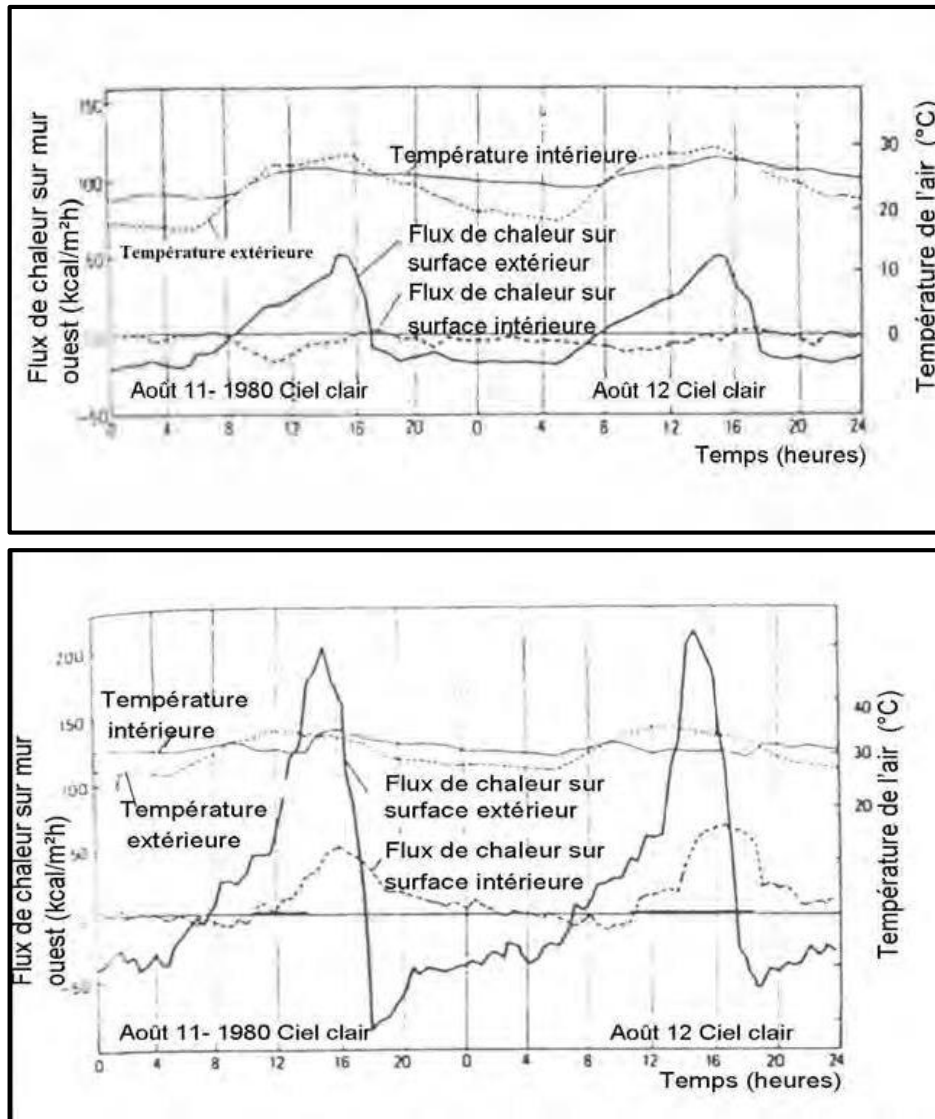


Figure 1.28: Variations journalières du flux de chaleur aux surfaces du mur ouest

Hoyano précise que sans lierre, la température surfacique extérieure maximale était environ 10°C (à 15h00) au-dessus de l'air ambiant, alors qu'avec la couverture de lierre elle était environ 1°C au-dessus de cette dernière. Pour ce qui est de la ventilation, de légères fluctuations de transfert convectif ont été enregistrées entre l'air extérieur et la surface externe du mur.

Dans une expérience en Allemagne, aucun mouvement d'air n'a été détecté dans l'espace derrière une croissance épaisse de 50 cm de lierre⁹

De plus, Watson et Camous confirment que la végétation présente un certain inconvénient en été car l'air est en quelque sorte stabilisé contre l'enveloppe. Cela diminue fortement l'effet de refroidissement des brises d'été. Cependant, dans le cas de brises assez fortes, la couche d'air contre la surface de l'enveloppe sera tout de même mise en mouvement à travers les feuilles et l'effet positif du refroidissement par évaporation de l'eau à la surface de feuilles contrebalancera la surchauffe plus importante de la couche d'air.

11.2. Effets thermiques d'une variété de vignes sur les températures des murs :

11.2.1. Expérience aux états unis :

Dans leur expérience à Los Angeles, Givoni et Sandifer,¹⁰ ont récapitulé les résultats d'une série d'expériences sur les effets de la végétation sur le microclimat et les températures de surface du bâtiment. Pendant plusieurs années, ils ont entrepris des expériences sur les effets thermiques des vignes sur des surfaces de mur au laboratoire d'énergie.

L'installation expérimentale, se compose d'une série de plaques verticales en aluminium peintes en marron et en blanc dont cinq modules placés au Sud et quatre à l'ouest avec une variété de culture de vignes (jasmin, chèvrefeuille, vigne de trompette, Glycine, lierre de Boston), où un thermocouple a été placé derrière au centre de chaque plaque. Un module pour chaque orientation est laissé sans plantation comme témoin. Par conséquent, les données liées aux modules d'essai ont été comparées à celles collectées des vignes accroissant contre les murs en stuc et en brique (Figure 1.29).

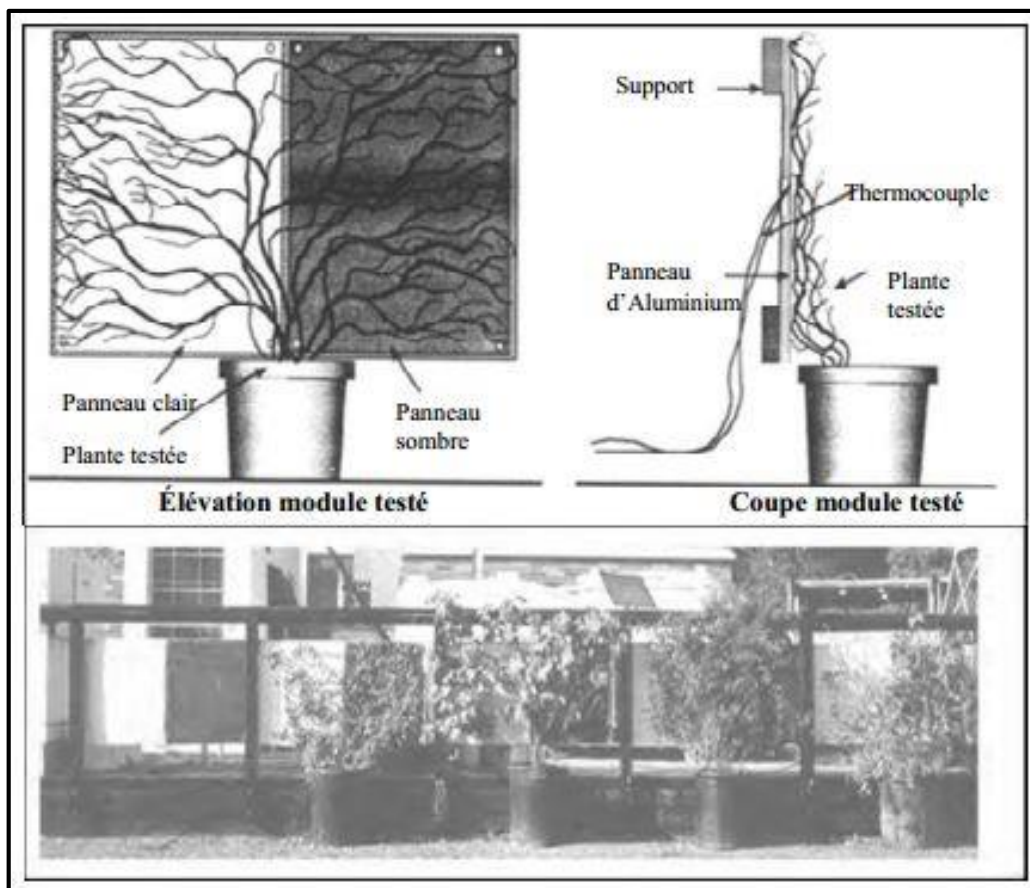


Figure 1.29: Installation de l'expérience

11.2.1.1. Essai d'une couverture de Glycine sur une pergola ouest :

Au même endroit, Givoni et Sandifer ont effectué un essai des conditions thermiques autour d'une pergola couverte de vigne de Glycine devant un mur en stuc de couleur gris clair orienté ouest.

Cette dernière a l'avantage de pouvoir ombrer aussi bien les surfaces vitrées que les surfaces opaques du bâtiment. Plusieurs paramètres ont été mesurés à plusieurs endroits

(Figure 1.30) en juillet 2001, afin de déterminer les effets de la pergola couverte de Glycine sur l'enveloppe du bâtiment et sur l'espace extérieur adjacent au bâtiment sous un climat de la Californie marqué par des étés chauds avec des températures moyennes atteignant 37 à 40°C.

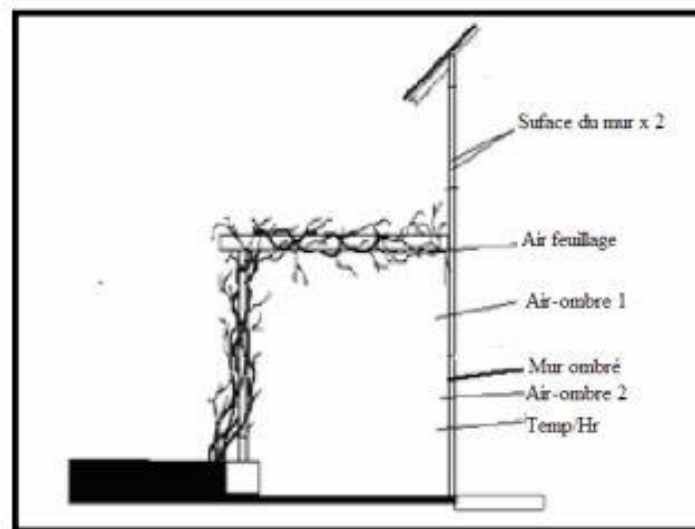


Figure 1.30 : Section de la Pergola montrant les endroits de mesures

Cette expérience a évoqué clairement le problème des murs ouest exposés. En effet, les températures d'air dans le feuillage ont été réduites de 7 à 10°C. De plus, la température de l'air au-dessus de la pergola était de 5 à 7°C plus élevée que la température de l'air à l'intérieur et au-dessous des vignes.

Une autre étude fut menée par Hoyano¹¹ concernant une pergola d'une hauteur de

2.5m couverte de Glycine au cours de laquelle, des mesures de transmission solaire, de températures surfaciques des feuilles, et des températures de l'air en haut et en bas de l'écran ont été effectuées. Par conséquent, la transmission solaire à travers la pergola était environ

0.1 à 0.2 du rayonnement horizontal. La température des feuilles à midi était plus ou moins la même que l'air ambiant avec un rayonnement solaire jusqu'à 400 kcal/m²h, et environ 2°C au-dessus de l'air ambiant avec un rayonnement solaire de 800 kcal/m²h.

11.2.1.2. Essai des vignes grimpant contre un mur de brique orienté sud :

Des vignes rouges de trompette (de même densité et même épaisseur de 30-35 cm sauf pour le jasmin étant moins dense) ont été placées sur une armature devant un mur en brique orienté Sud (Figure 1.31). D'ailleurs, la température de surface a été mesurée dans plusieurs endroits à l'ombre de la vigne et sur surfaces exposées du mur à l'aide de thermocouples avec des trous percés au centre et à l'intérieur de la surface de brique afin d'enregistrer le transfert thermique dans le matériau.



Figure 1.31: Vigne de Campsis sur un mur sud de brique

Notons par ailleurs, que la couleur de la brique exposée et celle des panneaux expérimentaux foncés présentaient de fortes ressemblances. (La figure 1.32) montre que les valeurs maximales journalières, la performance des vignes sur les panneaux expérimentaux et sur le mur de brique étaient presque identiques. Ainsi, la vigne de jasmin, qui était moins dense que les autres plantes, enregistrerait des températures plus élevées de 2 à 5°C par rapport à la température de l'air ambiant (DBT) et aux autres plantes. Le panneau témoin foncé et la surface exposée de brique ont eu également des performances très semblables. En outre, la vigne de trompette et le chèvrefeuille ont généré une diminution de la température de surface maximale journalière de 12 à 20°C. Quant au jasmin, la diminution était de 8 à 15°C. Ce qui permet de conclure que la plante de vigne de trompette et le chèvrefeuille sont plus performants que le jasmin. Par ailleurs, Watson et Camous, 1986, affirment que l'efficacité de la végétation dans le contrôle l'ensoleillement des façades est évidemment fonction de la densité du feuillage.

La différence entre la température des surfaces exposées et ombragées était approximativement 20°C pour les deux matériaux. Toutefois, puisque les températures de surface des plantes étaient inférieures à la température de l'air ambiant, il est évident qu'une partie de la réduction de température de surface est due à l'évapotranspiration des plantes.

En outre, Cantuaria en 2000 a obtenu une différence allant jusqu'à 10°C entre un mur couvert de vigne vierge ordinaire et un mur nu.

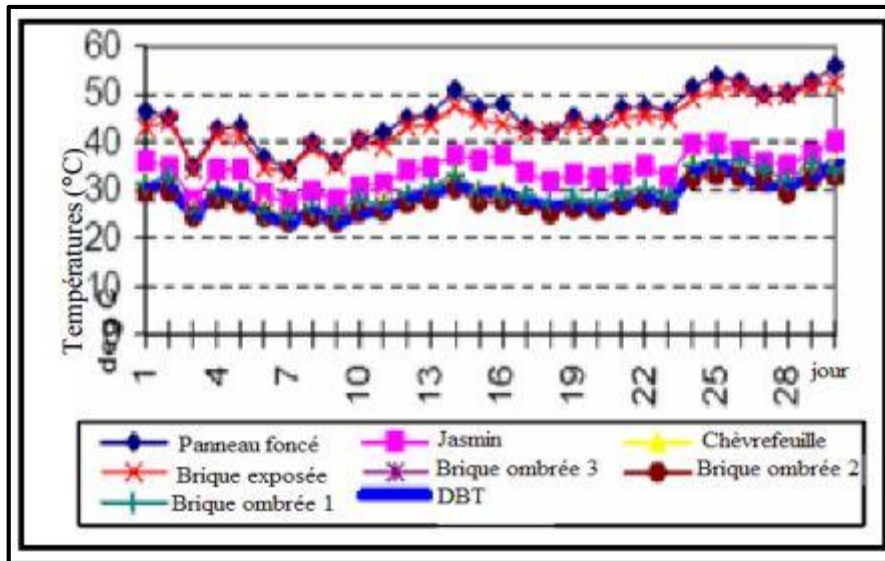


Figure 1.32: Températures maximales journalières en septembre

11.2.1.3. Essai des Espaliers accroissant sur un mur ouest en stuc :

Au même emplacement de la pergola, un mur de stuc orienté ouest ayant été partiellement couvert par une combinaison de deux plantes (Caffra de Grewia et kawakami de Pyrus) cultivées en espalier et d'une épaisseur de feuillage de 20 à 35 cm, fut également examiné. Un thermocouple a été alors placé sur la surface du mur ombragé et exposé (Figure 1.33).



Figure 1.33: Mur en stuc couvert d'espaliers.

Sur (la figure 1.34), les données de la pergola couverte de vigne sont montrées avec les outputs du mur ombragé de stuc avec un feuillage moins dense que la vigne de Glycine. Les résultats ont révélé que les moyennes maximales atteignent 54 à 58°C ; la surface ombragée par l'espalier avait une température maximale de 29°C inférieure à celle de la surface exposée.

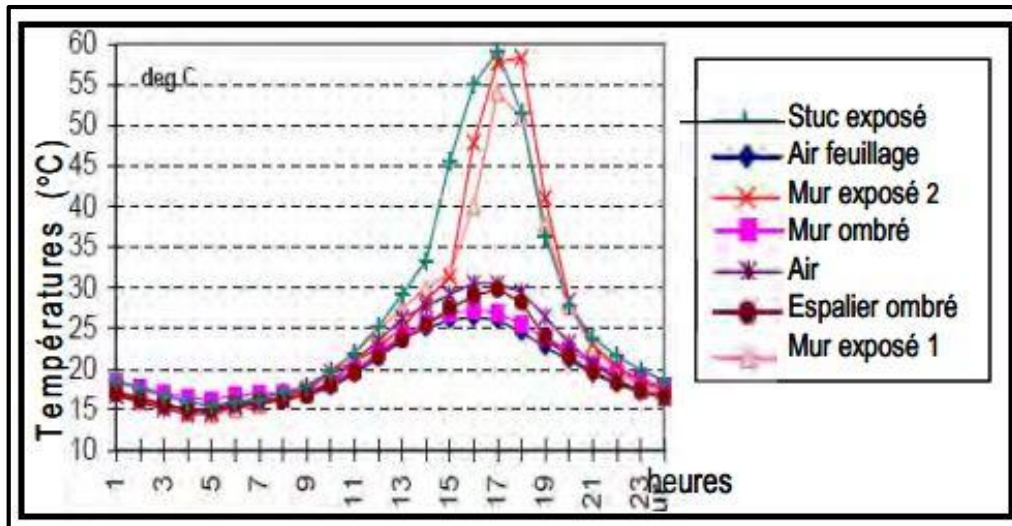


Figure 1.34: Diagramme des données de pergola et d'espalier

Tous ces essais prouvent que pendant les jours chauds d'été, les vignes s'accroissant directement sur des murs ou sur des pergolas à une épaisseur de 30-35cm peuvent être un moyen efficace pour réduire le problème du gain de chaleur du mur ouest en réduisant les températures surfaciques. Elles peuvent éliminer l'effet de la couleur extérieure et fournir un espace extérieur plus confortable à côté des bâtiments.

1.2.2. Expérience au Japon :

Hoyano (1988) a entrepris plusieurs études expérimentales au Japon, traitant l'utilisation des plantes dans la réduction des gains de chaleur des bâtiments, l'une d'elle concerne un écran solaire vertical de vigne devant une véranda. En effet, une vigne (Dishcloth de courge) a été installée devant une véranda sud-ouest d'une maison puis comparée à une véranda non abritée avec la même orientation. (La figure 1.35) indique que l'écran était efficace en fournissant l'ombre car l'insolation à l'intérieur de la véranda examinée était sensiblement inférieure que dans la véranda non abritée (sans écran: 40%, Avec écran: 25%). De plus, la température dans la véranda sans écran de vigne était plus chaude de 1-3°C.

Bien que l'auteur a prévu que l'humidité de la véranda avec écran soit plus haute que celle sans écran, dû à la transpiration des feuilles, aucune différence significative n'a été enregistrée lors des mesures.

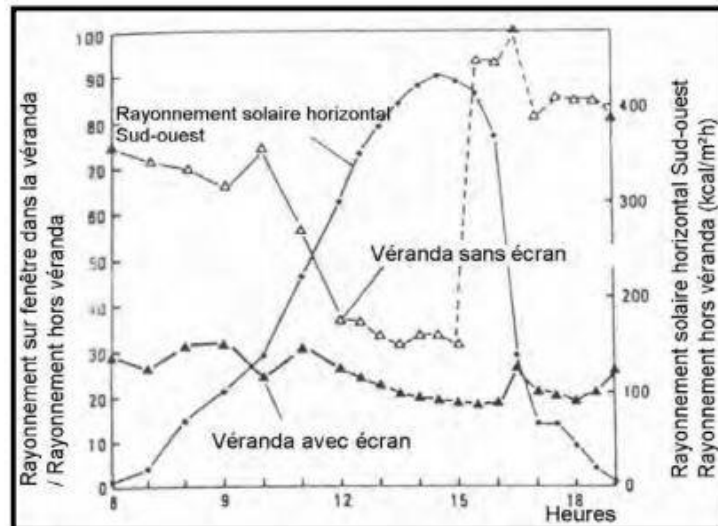


Figure 1.35: Variations journalières du rayonnement solaire incident sur
La véranda avec et sans écran de vigne

De plus, l'écran vertical de vigne a réduit sensiblement la vitesse de vent à travers la fenêtre dans la véranda abritée par rapport à la véranda non abritée. Sans écran, la vitesse d'air au centre de la fenêtre était, en moyenne 46% du vent extérieur, alors qu'avec l'écran de vigne, elle était environ 17%.

D'autre part, il a été démontré qu'une couche de 4 cm d'air, emprisonnée entre un mur isolé et une couverture de 16 cm de plantes pourrait améliorer la valeur U de ce mur d'au moins 30%. Si le mur est bien-isolé, cette réduction est moins significative

Toutefois, l'effet global d'un écran vertical sur le confort, dans un climat chaud humide, peut être négatif, dû à la réduction de la vitesse d'air intérieur. La distance entre le mur et la végétation, présente ainsi une grande importance.

11.3. Effets thermiques des vignes sur l'environnement thermique interne d'une façade vitrée :

1.3.1. Expérience en Angleterre:

Lam et al (2004) ont effectué une étude de cas sur l'utilisation de la végétation comme protection solaire sur les constructions. Cette expérience a été réalisée à l'école de l'environnement, de l'université de Brighton, dont le but principal est de mesurer l'efficacité du bioshader comme dispositif d'ombrage. Elle s'applique aux bâtiments naturellement ventilés dans lesquels l'air sera filtré à l'aide de la couche de plante avant d'entrer à l'intérieur du bâtiment (Figure 1.36) La plante choisie dans cette expérience est la vigne vierge de

Virginie. Le terme « Bioshader » désigne un prototype de couche verticale de plante grimpante à feuilles caduques qui s'étend sur un cadre métallique installé à l'extérieur contre la façade vitrée d'un bâtiment.



Figure 1.36: Le Bioshader

A cet effet, plusieurs paramètres ont été mesurés : la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement solaire à plusieurs endroits. Les résultats ont été comparés à ceux d'un bureau identique sans écran végétal, qui a servi comme salle témoin.

L'analyse de ces données a révélé que le bioshader proposé régule non seulement les gains solaires, mais améliore également la qualité d'air aussi bien qu'il fournisse des environnements esthétiquement satisfaisants.

Une baisse de la température ambiante a été constatée dans le bureau d'essai durant la plupart des après-midi d'été où il a fait chaud (avec un écart de température entre la salle d'essai et la salle témoin variant de 4,3 à 5,6°C)

(Figure 1.37), avec une légère augmentation constante de l'humidité relative de 6 à 10%.

D'autres études ont également prouvé que les bâtiments avec un aménagement végétal approprié ont de plus basses températures que les bâtiments ordinaires en été. En outre, les vignes ou les lierres épais peuvent augmenter l'humidité de l'air de 10 à 20%.

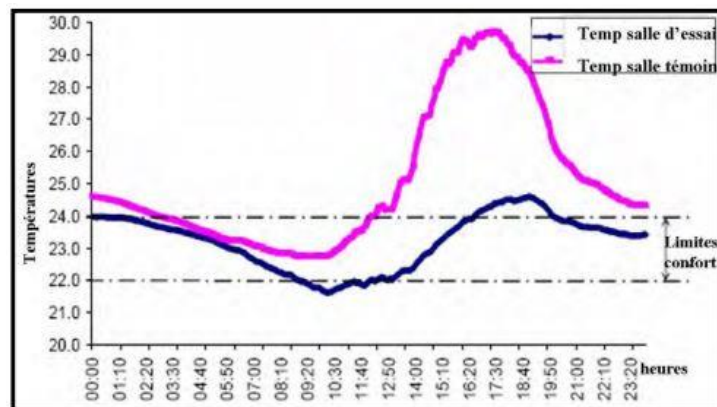


Figure 1.37: Ecart de température entre la salle d'essai et la salle témoin

Les résultats de l'expérience ont ainsi démontré que la transmission des rayons solaires par le feuillage varie de 0,43 pour une feuille simple à 0,14 pour cinq couches de feuilles (une réduction de 37% de rayonnement solaire par une seule couche de feuillage comparé à 86% obtenue par cinq couches de feuilles).

11.3.2. Expérience à Toronto :

Une investigation basée sur des observations et des modélisations a été conduite par Bass et al sur les températures de surface d'un jardin vertical dans différents endroits à l'université de Toronto (Figure 1.38) Le jardin vertical a été comparé à une surface de couleur claire en métal et à une surface foncée. D'ailleurs, l'installation a été employée non seulement pour comparer la température des deux surfaces (métal et feuille) mais pour évaluer également le potentiel d'ombrage des fenêtres par la végétation.



Figure 1.38: Jardin vertical testé à l'université de Toronto

Les essais ont été effectués à l'université de Toronto entre 1996 et 1998 durant plusieurs mois. Pour cela, trois emplacements et différents types de jardins verticaux ont été évalués. Le jardin vertical est composé de 4 plantes et un jardin témoin sans aucune plante.

De plus, les mesures ont été prises avec un thermomètre infrarouge sur plusieurs endroits sur le mur ainsi que les surfaces environnantes.

Les premières données ont été rassemblées in situ, en août 1996. En effet, trois plantes différentes * Gloires de matin (morningglories), haricots d'Espagne d'écarlate (scarletrunnerbeans) et tournesols (sunflowers) * ont été installées sur des fenêtres orientées ouest. Les mesures ont été relevées pendant deux jours à 12.00h, 13.30h et 14.30 h au niveau du mur de brique et la surface noire dans le même endroit que le jardin.

Les jardins verticaux étaient efficaces à réduire la température de surface et à ombrer les fenêtres. Ils étaient plus frais que le mur en brique de couleur claire et nettement plus frais que la surface noire.

Un deuxième ensemble d'observations a été rassemblé à l'intérieur en février 1997, comparant trois jardins verticaux * le lierre, fleur de passion et l'oreille d'éléphant * à un mur blanc. Les données ont été relevées entre 14 h30 et 15h00, une fois par semaine pendant cinq semaines. Par conséquent, les températures moyennes des jardins verticaux étaient inférieures au mur blanc. En outre, l'analyse a indiqué que les différences de température entre le lierre et l'oreille d'éléphant et entre la fleur de passion et l'oreille d'éléphant étaient également significatives, les niveaux des températures et d'humidité ont été bas pour l'oreille d'éléphant.

Par ailleurs, ces observations ont été comparées à un mur de couleur claire couvert de vigne de ficus et à une surface noire. Les données ont été rassemblées entre 2:30 et 3:00, pendant l'automne de 1998.

Par conséquent, l'analyse de ces données a indiqué des différences significatives entre toutes les surfaces. Les jardins verticaux étaient plus frais qu'une surface noire, mais ils étaient également plus frais que les murs de couleur claire à chaque emplacement. En effet, il a été confirmé que les températures moyennes du mur exposé, du mur ombragé et des surfaces de feuille étaient 43°C, 26.8°C et 26.1°C respectivement.

L'effet d'ombrage d'une fenêtre peut être estimé en calculant l'évitement mensuel de la charge de refroidissement par le biais de la formule suivante, n'inclut pas l'effet de l'évapotranspiration sur l'écoulement de chaleur:

$$MCLA = A \times D \times G \times S \dots\dots\dots [1]$$

MCLA = évitement mensuel de charge de refroidissement

Où : A = Surface de la fenêtre (m²)

D = Coefficient d'ombrage (%)

S = Heures d'exposition directe au soleil par mois

G = Gain de chaleur horaire moyen pour le mois (W/m²)

* La valeur « S » devrait refléter les heures d'exposition directe au soleil. Par exemple, à

Toronto, il peut y avoir 16 heures de soleil pendant les mois d'été, mais le côté ouest d'un bâtiment est exposé à la lumière du soleil directe pendant seulement six heures.

* Le calcul du gain de chaleur G, exige de l'information sur l'énergie solaire entrante.

Une quantité type de rayonnement à Toronto serait 600 W/m². La variable « G » est la fraction estimée de l'énergie solaire entrante sur un mur multiplié par le pourcentage de transmission de l'énergie solaire par la fenêtre. Le pourcentage de l'énergie solaire entrante qui est transférée par la fenêtre varie de 76% pour une fenêtre de simple vitrage sans protection à 26% pour les fenêtres de verre réfléchissant. Pour les fenêtres de double vitrage réduisent la quantité d'énergie transmise qui varie de 25 à 64 %.

Pour les plantes, « D » est en général 80%. Ainsi, selon l'orientation, la taille des fenêtres, la hauteur du bâtiment, et le nombre de fenêtres, en ajoutant un jardin vertical, les réductions des charges de climatisation et de gaz à effet de serre ont pu être tout à fait significatifs avec un coefficient d'ombrage « D » de 80%.

Enfin, Bass affirme que le plus grand impact d'ombrage réside dans la réduction de l'énergie solaire transmise par les fenêtres pendant que celle-ci est absorbée dans la pièce et irradiée comme chaleur.

11.4. Effets thermiques d'une combinaison de végétation à feuilles caduques et persistantes sur les murs extérieurs :

Une série d'observations a été rassemblée en climat chaud et aride d'Afrique du Sud par (Holm, 1989) sur le lierre anglais, le lierre de Boston, la vigne vierge de Virginie et la vigne ordinaire. Un modèle numérique, simulant les effets thermiques de ces plantes sur les murs extérieurs, a été formulé en utilisant le programme DEROB où ces simulations ont été validées contre des mesures sur terrain. En effet, les mesures in situ prises sur ces plantes ont produit des températures identiques à l'ombre à une épaisseur de couverture de 20 cm.

Ce modèle a estimé qu'en été, le jardin vertical a réduit les températures journalières de 5°C sur la surface d'un bâtiment orienté sud. Des améliorations de température de l'air intérieur ont été également atteintes pour des bâtiments orientés ouest. D'autres simulations sur des bâtiments de haute et de basse masse thermique de la même conception ont été exécutées pour les orientations Sud et ouest dans différents climats pour des jours d'été et d'hiver. Les meilleurs résultats de performance thermique ont été obtenus pour des bâtiments de faible masse dans des climats chauds-arides avec des murs orientés Sud.

Conclusion :

Avec la crise énergétique, le recours aux procédés passifs a connu un essor de plus en plus amplifié. De ce fait, l'utilisation de la végétation comme dispositif de rafraîchissement ou de chauffage pour améliorer le microclimat des bâtiments a été étudiée par bon nombre de chercheurs partout dans le monde. Bien que leurs méthodes varient, presque tous les résultats ont confirmé que l'usage de la végétation autour des bâtiments présente un intérêt sûr dans l'économie d'énergie et procure des ambiances confortables pour les occupants.

Un arrangement approprié des écrans végétaux sur des bâtiments prouve non seulement des effets psychologiques mais améliore également les conditions microclimatiques défavorables. De plus, des plantations sélectives peuvent protéger non seulement les ouvertures, mais aussi les murs extérieurs et les toits en réduisant les transferts conductifs et les gains par rayonnement.

Quantitativement, l'effet des murs végétalisés sur le microclimat des bâtiments dépend de la densité et de l'épaisseur de la couche de feuillage et de la surface ombrée. Ces propriétés changent avec la typologie des plantes et avec les saisons. De plus, la couleur et le revêtement du mur et la distance entre le mur et la végétation sont ainsi des paramètres très importants.

Enfin, pour pallier au besoin de refroidissement et à l'amélioration thermique de l'environnement intérieur des bâtiments, cette stratégie s'est avérée la plus prononcée dans des climats chauds-arides où les meilleurs résultats ont été obtenus. Toutefois, dans un climat chaud et humide, le potentiel d'isolation de la végétation peut anéantir l'effet de refroidissement passif dû à la réduction de la vitesse d'air intérieur.



Chapitre 2 :

Présentation du cas d'étude

1. Présentation du cas d'étude et méthodologie de travail :

1.1- Notre travail :

L'objectif de notre travail est d'effectuer une comparaison du bilan thermique entre une maison située à la ville de Blida, en Algérie, construite avec des matériaux classiques (béton, briques...), et la même maison construite avec une enveloppe écologiques (la végétation grimpante...), pour avoir une idée précise sur « l'influence d'un mur végétal sur le comportement thermique d'un habitat ».

1.2- Situation géographique :

A une latitude $36^{\circ}42$ au Nord, une longitude de $2^{\circ}83$ à l'Est et une altitude de 341, la Commune de Blida située au centre de la wilaya de Blida, La ville est située à 47 km au sud-ouest d'Alger, et à 26 km au nord-est de Médéa, sur la bordure Sud de la plaine de la Mitidja à 22 km de la mer. L'unité urbaine s'étend en outre de la commune de Blida sur les communes suivantes : Ouled Yaïch, Soumaa, Bouarfa, Beni Mered et Guerouaou.

Elle est limitée géographiquement par les communes suivantes :

Beni Tamou, Beni mered, Ouled Yaich, Chréa, Bouarfa, Chiffa, Oued Alleug.

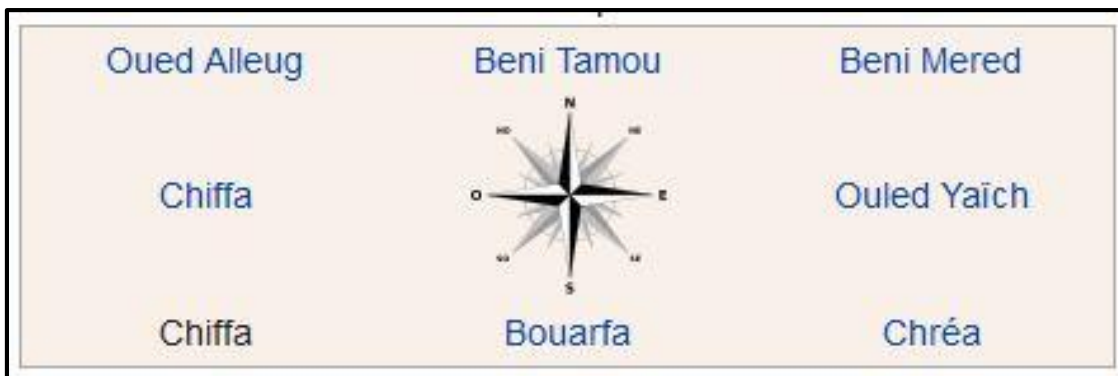


Figure 2.1: Limite géographique de la ville de Blida



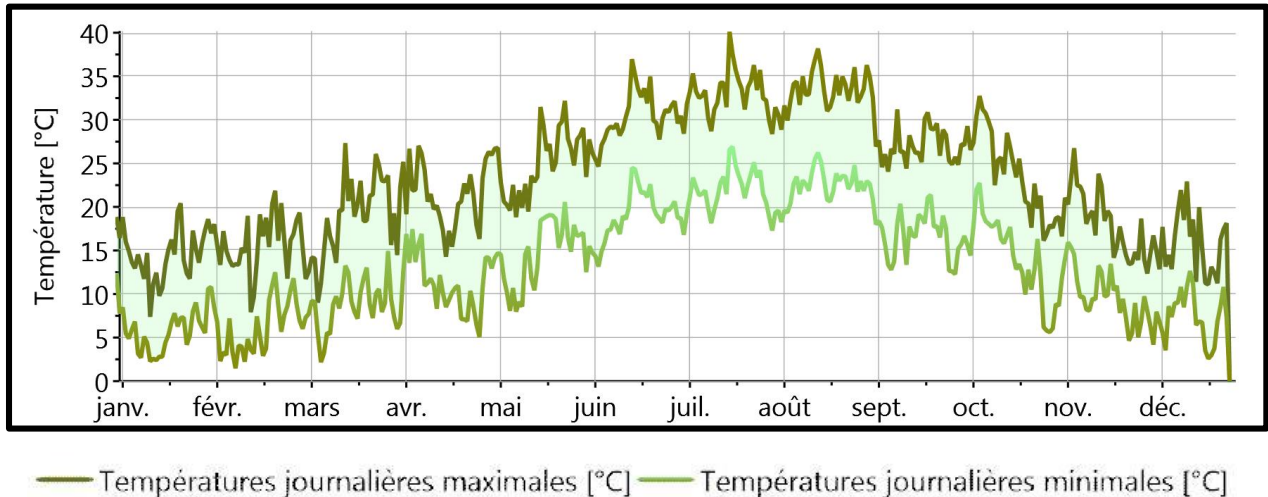
Figure 2.2: Localisation de la commune dans la wilaya de Blida

1.3- Donnée climatique :

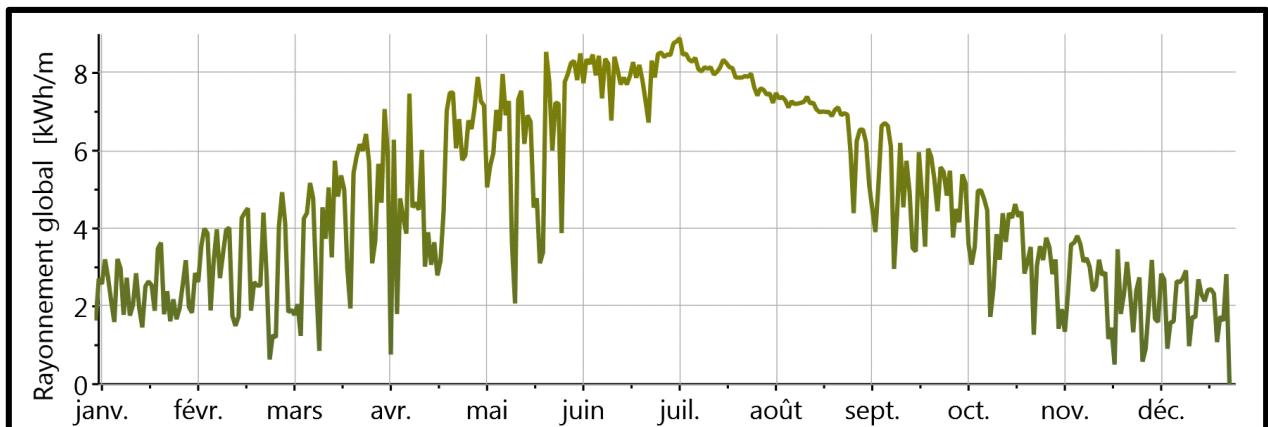
La Commune de Blida se situe dans la zone du climat méditerranéen. Elle présente un climat caractérisé par un hiver frais et pluvieux et un été chaud et humide.

Les conditions climatiques d'un lieu peuvent être scindées en contraintes dont on désire se protéger et en avantages qu'on désire exploiter.

Notre objectif dans ce chapitre est de rechercher une synthèse harmonieuse entre la vocation du bâtiment, le confort des occupants et la prise en compte des conditions sus indiquées.

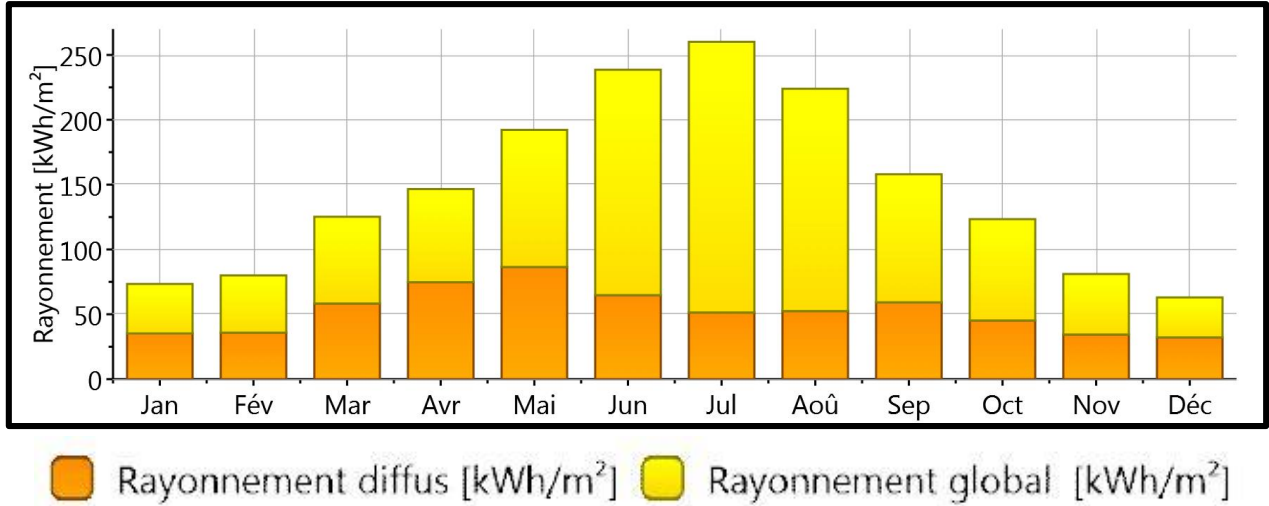


Graphe 2.1 : Température journalière

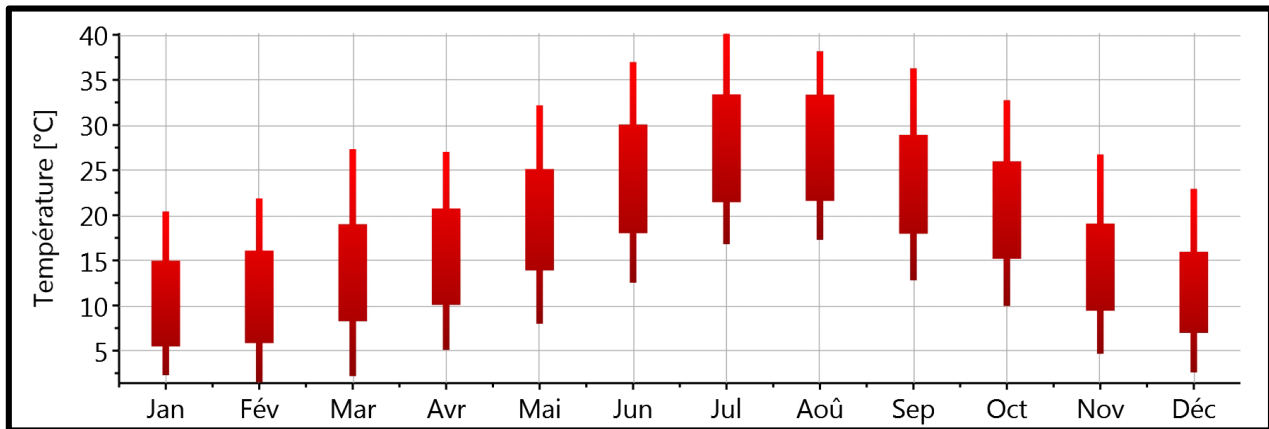


Graphe 2.2 : Rayonnement global

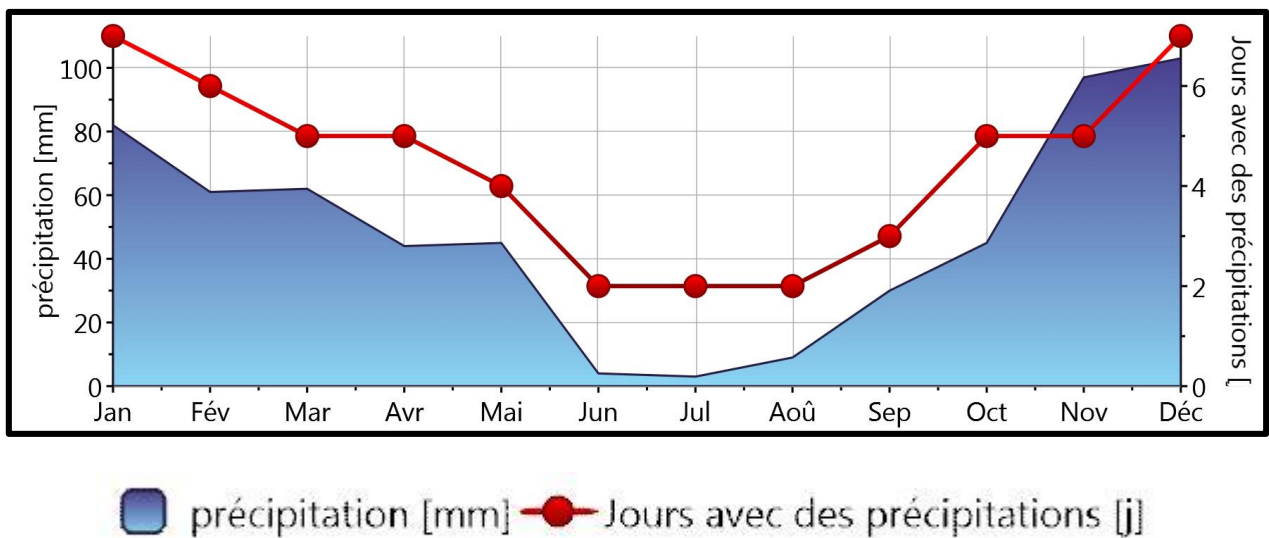
Chapitre 2 : Présentation du cas d'étude



Graph 2.3 : Rayonnement mensuel



Graph 2.4 : Température mensuelle



Graph 2.4 : Température mensuelle

1.4- Description de l'habitation :

L'habitation qui fait objet de notre étude possède une surface habitable de 184 m² conçue sur deux niveaux. Le rez-de-chaussée se compose d'un couloir avec une circulation verticale, un séjour, une salle à manger, une chambre, une cuisine et enfin une salle d'eau; au premier étage, il y a trois chambres et une salle d'eau.

L'architecture, l'orientation, la compacité, ainsi que le masque végétal aident l'habitation à mieux capter le rayonnement solaire, et profiter au maximum des apports solaires. L'espace vital est orienté au sud, et c'est le principe de l'architecture bioclimatique exigée pour une conception écologique. La maison conventionnelle est réalisée initialement avec de Bloc BTS et des cloisons en brique, les fenêtres sont en PVC et un double vitrage ; les portes en bois isolant performant.

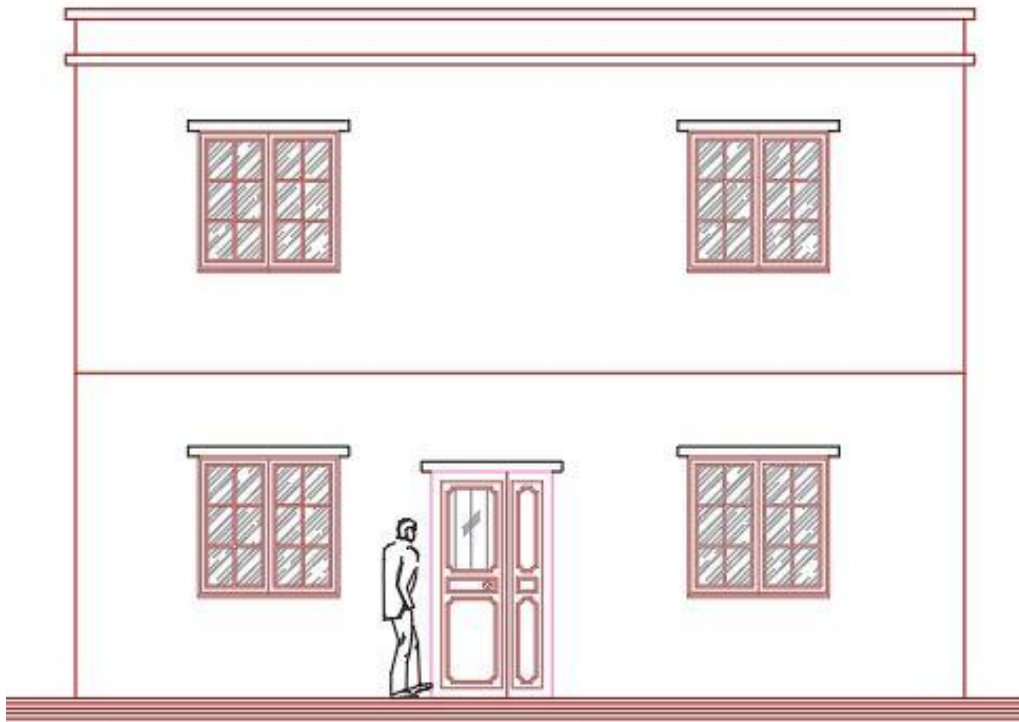


Figure 2.3 : Façade Sud

Chapitre 2 : Présentation du cas d'étude

L'habitation contient 4 pièces. Certaines sont positionnées vers l'Est et Sud-Est pour bien profiter de l'éclairage naturel en laissant pénétrer le maximum de lumière et, les autres qui représentent des activités secondaires sont positionnées vers le Nord et Nord-Ouest

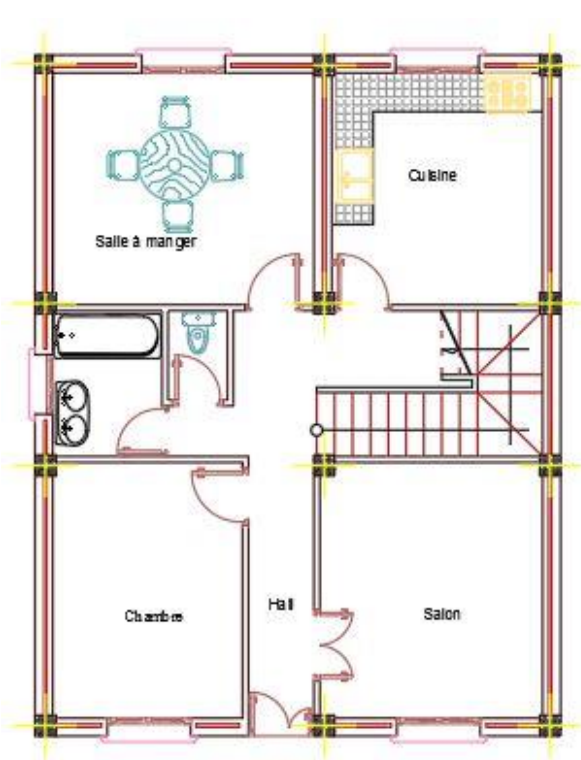


Figure 2.4 : Plan de rez-de-chaussée

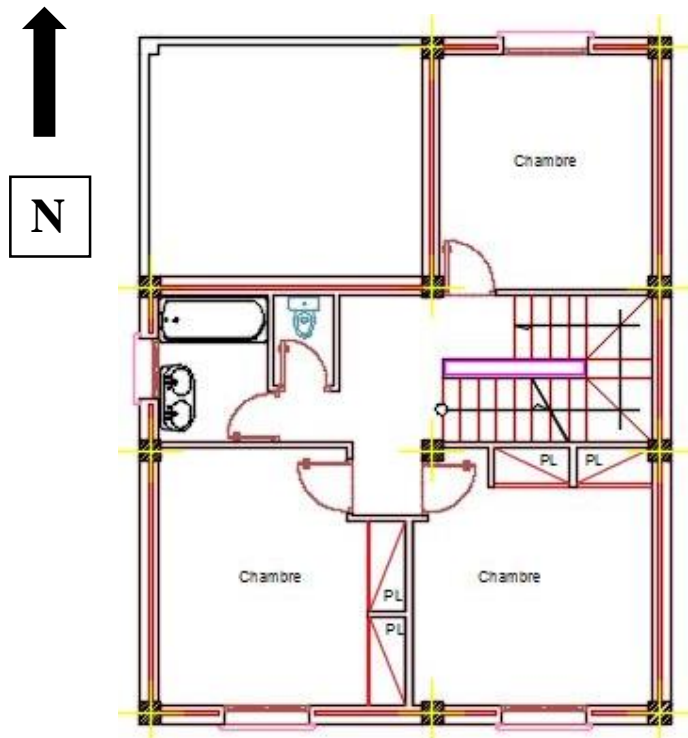


Figure 2.5 : Plan de premier étage

2. Caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment :

2.1- Isolation thermique et composition des parois :

L'enveloppe extérieure doit atténuer, autant les pertes de chaleur en période hivernale, que les effets des radiations solaires en période estivale. Cette propriété d'atténuation dépend des caractéristiques de transmission thermique des parois par conductions, convection et radiation

Nous constatons, à travers certaines illustrations, que le bâtiment est composé plus de de Baies vitrées que des parois opaques.

Nous allons présenter les caractéristiques des matériaux qui composent les deux configurations, dans le tableau ci-dessous

2.1.1- Configuration performante :

	Composition	e Cm	λ W/m.K	R m ² .K/W
Mur extérieur	BTS	14	1.15	0.2
	Polystyrène	10	0.05	2.13
	BTS	29	1.15	0.25
Mur intérieur (Cloison Brique)	Plâtre courant	2	0.35	0.06
	Brique creuse de 5cm	5	0.50	0.10
	Plâtre courant	2	0.35	0.06
Plancher	Béton lourd	2	1.75	0.01
	Polystyrène expansé	6	0.046	1.54
	Béton lourd	15	1.75	0.09
	Mortier sable	3	1.15	0.03
	Carrelage	2	1.7	0.01
Toiture : plancher isoler	Carrelage	2	1.70	0.01
	Mortier	4	1.15	0.03
	Polystyrène	5	0.04	1.28
	Béton lourd	15	1.75	0.09
	Enduit plâtre	1	0.35	0.03

Tableau 2.1 : Caractéristique des matériaux performants

En ce qui concerne les éléments de Menuiserie, et compte tenu de leur influence sur le bilan thermique d'un bâtiment, nous avons envisagé la configuration suivante :

2.1.2- Composition des ouvertures performantes :

Fenêtre en PVC DV 4.12.4		
Composant	Description	
Vitrage	U_g	2.8 W/(m ² .K)
Cadre	U_f	1.7 W/(m ² .K)
Porte bois isolante performante		
Composant	Description	
Vitrage	U_g	3.5W/(m ² .K)
Cadre	U_f	0.8 W/(m ² .K)

Tableau 2.2 : Caractéristique des ouvertures performants

3. Réglementation et consigne du DTR :

Pour minimiser les déperditions thermiques vers l'extérieur, il est important de réduire au maximum la conductance thermique des murs par une bonne isolation thermique.

Cette isolation répond bien à la réglementation thermique algérienne décrite dans les documents techniques réglementaire DTR C3-2 et le C3-4.

3.1- Document thermique réglementaire (DTR) Algérien :

Le présent Document Technique Réglementaire (DTR C3-2) a pour objet de fixer les méthodes de :

- Détermination des déperditions calorifiques des bâtiments ;
- Vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique ;
- Dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments ; on introduit alors la notion de déperditions calorifiques de "base" ;
- Conception thermique des bâtiments.

Il s'applique exclusivement aux bâtiments à usage d'habitation.

Quant au DTR C3-4, il fait référence au document technique réglementaire C 3-2 « Réglementation thermique des bâtiments d'habitation - Règles de calcul des déperditions » (principalement pour la détermination des résistances thermiques, et pour la détermination du débit d'air neuf des logements).

Il a pour objectif de fixer

- Les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments,
- La méthode de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments.

Il s'applique dans certains locaux comme ceux :

- À usage d'habitation,
- D'hébergement (chambres collectives, dortoirs, salles de repos, ...),
- À usage de bureaux,
- D'enseignement (classes, salles d'études, ...),
- D'accueil (bibliothèques, bureaux de poste, banques, ...),
- De réunion (salles de spectacle, lieux de culte, ...),
- De vente (boutiques, supermarché, ...),
- De restauration (café, restaurant, cantine, ...),
- À usage artisanal (salon de coiffure, laboratoire de boulangerie, petit atelier, etc.).

La conformité d'un projet par rapport au DTR est recherchée lorsque le concepteur doit s'assurer que – « **les déperditions par transmission du logement sont inférieures aux déperditions de référence** » qu'on peut résumer sous cette formule

$$D_T \leq 1,05 \times D_{\text{réf}}$$

Chapitre 2 : Présentation du cas d'étude

- D_T (en $W/^\circ C$) représente les déperditions par transmission du logement,
- $D_{réf}$ (en $W/^\circ C$) représente les déperditions de référence.

Pour atteindre cette consigne établie par le document, ce dernier utilise une méthode de calcul de « déperditions d'un logement » dont les résultats nous informent si on est dans la conformité ou pas.

3.2- Méthodes de calculs des deux documents thermiques :

Vu le nombre de détails cité dans le DTR algérien, nous allons présenter la méthode de calcul empirique couramment utilisé par les thermiciens pour la vérification de la conformité par rapport au règlement thermique

Tout d'abord nous allons faire une nomenclature des symboles qui représentent du coefficient ou des indices utilisée dans DTR Algérien, afin de les identifier lors de la lecture des formules de calculs.

	<i>Grandeur</i>	<i>Unité</i>
K	Coefficient de transmission surfacique	$W/(m^2.K)$
k_l	Coefficient de transmission linéique (pont thermique)	$W/(m.K)$
k_s	Coefficient de transmission ponctuel (pont thermique)	W/K
R	Résistance thermique	$m^2.K/W$
h_e	Résistance thermique superficielle coté intérieur	$m^2.K/W$
	Résistance thermique superficielle coté extérieur	$m^2.K/W$
λ	Coefficient de conductivité thermique	$W/(m.K)$
e	Épaisseur	m
A	Surface	m^2
l	Largeur, Longueur	m
T	Température	K
T_{au}	Coefficient de réduction de température	-
Q_v	Débit d'air entrant dans le local	m^3/h
q_{vo}	Débit d'air entrant par m^2 de paroi	$(m^3/h)/m^2$
	Surface habitable	m^2
a	Coefficient de référence	$W/(m^2.K)$
(D_T)_i	Coefficient de déperdition thermique par transmission entre le volume chauffé d'une part et l'extérieur, le sol et les locaux non chauffés d'autre part.	W/K
D_s	Coefficient de déperdition thermique par transmission à travers les parois donnant directement sur l'extérieur	W/K
D_{sol}	Coefficient de déperdition thermique par transmission à travers les parois en contact direct avec le sol, un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé	W/K
D_{inc}	Coefficient de déperdition thermique par transmission à travers les parois donnant sur des locaux non chauffés (à l'exception des sous-sols et vides sanitaires)	W/K
D_R	Coefficient de déperdition thermique par renouvellement d'air	W/K

Tableau 3.5 : Nomenclature utilisée dans le DTR

3.3-Méthode de DTR :

$$D_T = (D_T)_i + (D_R)_i$$
$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i$$

(Ds)i représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur

(Dli)i représente les déperditions à travers les liaisons

(Dsol)i représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol

(Dinc)i représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non

DR déperditions thermiques par renouvellement d'air

$$\frac{1}{K} = \sum R_i + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$$

$$\frac{1}{K_{sol}} = 0.14 + R_p + \frac{e}{1.9}$$

$$D_o = K_o \times A$$

K coefficient de transmission thermique (**K** est donné dans le tableau cité par le **DTR**)

A Surface du vitrage ou de la porte

$$D_{inc} = \text{Tau} [S (K \times A) + S (k_l \times L)]$$

Conclusion :

Ce chapitre englobe le choix de site choisi Blida afin de définir les données climatiques, à l'aide de logiciel métronome 7.1

Ainsi les détails architecturaux du logement (parois extérieures et intérieures, plancher bas, plancher intermédiaire, plancher haut, les ouvrants) à partir du choix de l'habitation.

Ces données vont être modélisées à l'aide d'un logiciel de dessin Alcyone, et logiciel de simulation Pléiade + Comfie dans le chapitre 3, avant de définir les besoins énergétiques des logements d'études.



Chapitre 3



Bilan thermique

Introduction :

La simulation thermique dynamique (STD) est une étude thermique qui permet de modéliser le comportement thermique d'un bâtiment sur une année grâce à un calcul effectué selon un pas horaire.

La simulation thermique dynamique permet de prendre en compte l'inertie thermique du bâtiment, les ponts thermiques, le comportement des usagers et des solutions proposées sur les différentes réponses retenues et notamment les besoins de chauffage. Ces dernières remarques justifient que la détermination des besoins (et des autres réponses) est spécifique à l'outil de simulation thermique du bâtiment choisi.

1. Logiciels testés :

Le choix des logiciels s'est donc porté vers Pléiades Comfie

Présentation générale de l'outil de simulation « le logiciel PLEIADES + COMFIE »

Pléiades+Comfie est un logiciel qui a été développé à la fin des années 80 par l'école des Mines de Paris par Peu portier et Blanc Sommer eux pour faire face aux besoins de modélisation. L'interface utilisateur a été réalisée par la société Gefosat, et aujourd'hui mise à jour en suivant l'évolution du logiciel par la même société renommée Izuba Energies.

Pléiades correspond en fait à l'interface utilisateur et Comfie au moteur de calcul. Nous utiliserons parfois au cours de ce rapport simplement l'appellation Pléiades pour le logiciel mais il s'agira bien évidemment de Pléiades + Comfie. C'est un logiciel assez répandu puisqu'en 2009, 700 licences étaient délivrées.

Pleiades + Comfie est intégré à un ensemble de logiciel interfacé complet facilitant la saisie rapide de toutes les caractéristiques du bâtiment, de ses équipements et de ses scénarios de fonctionnement, d'une part, et chaîné à un calcul d'analyse de cycle de vie du bâtiment, d'autre part.

2. Présentation générale de l'outil de simulation « le logiciel PLEIADES + COMFIE » :**2.1- Pléiades Comfie :**

Le logiciel Pleiades + Comfie est développé par le Centre d'énergétique de l'Ecole des Mines de Paris, il intègre plusieurs bibliothèques de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs, les menuiseries, les états de surface, les albédos et les écrans végétaux. Le logiciel comprend aussi des bibliothèques de modes de gestion du bâtiment étudié selon un scénario horaire pour une semaine-type (occupation, apports internes, températures de consigne de chauffage ou de climatisation, gestion des occultations).

Chaque ouverture vitrée peut être affectée d'un masque intégré à la construction (évent, brise-soleil etc.). Les masques lointains (relief, autres bâtiments), les obstacles à l'ensoleillement à proximité de chaque paroi (arbre, masques architecturaux) sont également pris en compte.

Le logiciel de simulation thermique utilisé par IZUBA Energies, Pléiade Comfie, nécessite, comme données d'entrées météorologiques, les valeurs horaires des températures et du rayonnement.

2.1-a. L'interface Pléiades+ Comfie :

Les ventilations extérieures sont définies pour chaque zone par un scénario hebdomadaire et horaire. Il est également possible de prendre en compte différents types de ventilation interne entre les pièces : ouverture de porte avec indication de la fréquence d'ouverture ou d'une régulation, orifices de ventilation, ventilation mécanique inter zones, mur Trombe. Les zones peuvent être à évolution libre (température flottante), ou bien thermo-staées (avec une consigne de chauffage et une consigne de climatisation hebdomadaire et horaire). Dans ce dernier cas les puissances de chauffe et de rafraîchissement nécessaires pour maintenir la température souhaitée sont calculées à chaque pas de la simulation. Pour chaque zone, il est aussi possible de définir la puissance de l'équipement de chauffage et de refroidissement, l'efficacité de l'échangeur récupérateur (en ventilation double flux) et la position du thermostat (qui peut être dans une autre zone).

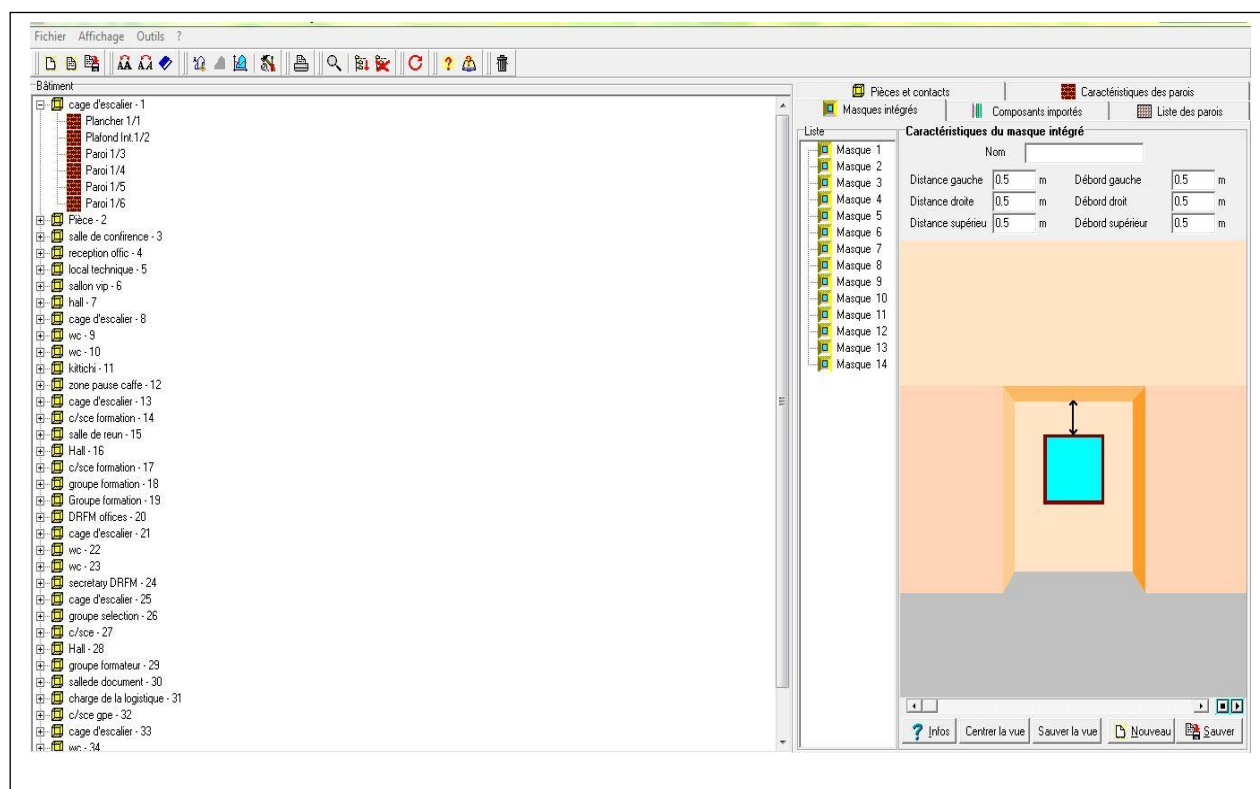


Figure 3.1 : interface de pléiade

2.2- ALCYONE :

Un logiciel appelé ALCYONE est un module de saisie graphique qui permet de dessiner le bâtiment à partir de plan 2D, de lui associer des masques proches, des compositions, des vitrages, de le découper en zone thermique ...etc, et d'importer les données vers l'interface graphique de COMFIE appelée PLÉIADE. Son interface est représenté en figure.

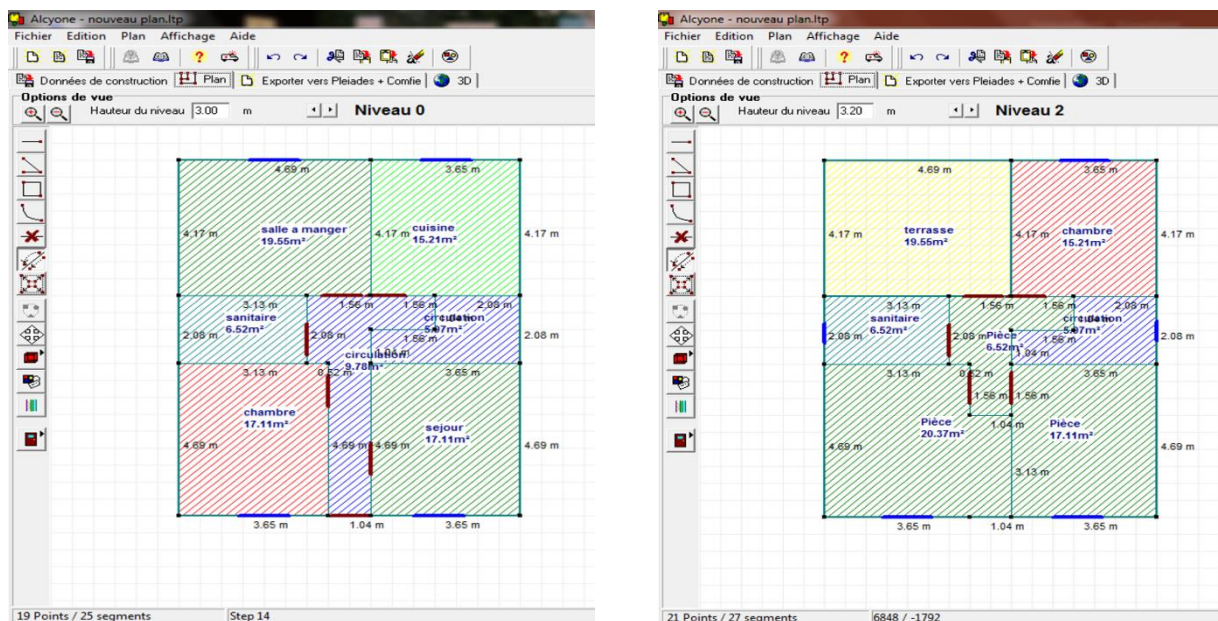


Figure 3.2: interface de Alcyone



2.3 METEONORM 7.1 :

Le pack Stations Meteonorm comporte plus de 220 stations météo complémentaires (France métropolitaine, Belgique, Suisse, Luxembourg et pays du Maghreb) pour la simulation thermique dynamique.

COMFIE est un moteur de calcul de simulation thermique dynamique multizone des bâtiments développés depuis 1990 par le Centre d'énergétique de l'école des Mines de Paris. Il calcule de façon précise et rapide :

Les flux thermiques entre zones thermiques à partir du descriptif du bâtiment, de son environnement et des occupants et en tenant compte de l'inertie sur les besoins de chauffage et sur le confort d'été. Un outil idéal pour la conception de bâtiments à basse consommation et haut niveau de confort. Les temps de calcul réduits sont l'assurance d'une meilleure productivité. Des calculs complémentaires. Les débits d'air en ventilation naturelle et forcée pour chaque menuiserie, entrée d'air etc. L'influence de matériaux à changement de phase incorporés aux parois. Les performances d'une installation photovoltaïque intégrée au bâtiment. L'influence d'un puits climatique couplé au bâtiment.

Les besoins d'éclairage artificiel. Des critères de confort adaptatif, suivant les normes 7730 (PPD-PMV) et 15251 et le diagramme de Givoni.

Procédures d'injection des données sur pléiade :

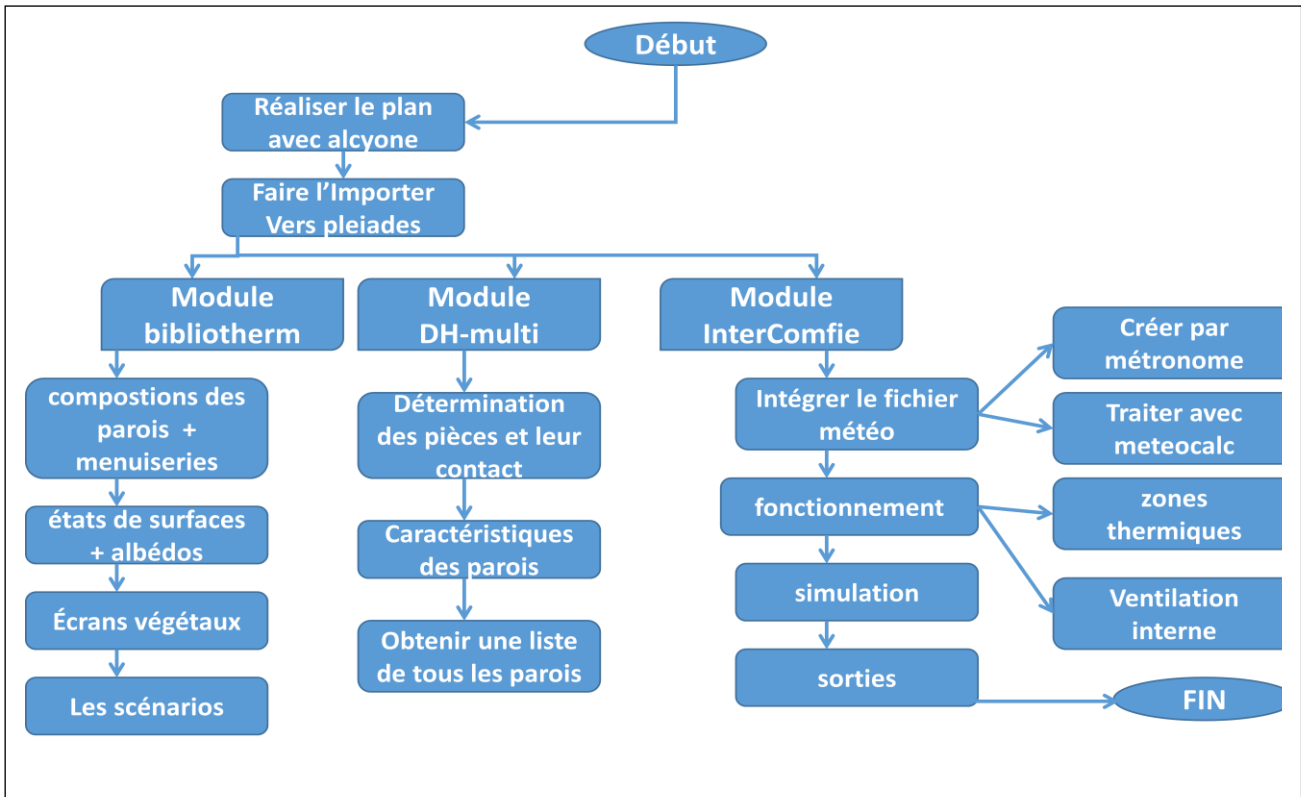


Figure 3.3: Procédures d'injection des données sur PLÉIADE

3. Le Bilan Énergétique Du Projet (Utilisation de D.T.R c 3-2):

Le bilan énergétique du bâtiment est basé sur le fait que pratiquement toute l'énergie entrant dans un bâtiment finit par être transformée en chaleur. Étant donné qu'en moyenne, l'intérieur du bâtiment est à température constante, toute cette énergie finirait par en sortir.

Pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré, par conservation de l'énergie.

Simulation statique :

3.1- Calcul des déperditions et apports calorifiques des bâtiments :

Surface des fenêtres : $S = 7 \times (1.2 \times 1.4) + 2 \times (0.6 \times 0.6) = 12.48 \text{ m}^2$

Surface de la porte : $S = (0.94 \times 2.04) = 1.92 \text{ m}^2$

Surface de plancher haut : $S = 95.50 \text{ m}^2$

Surface de plancher bas : $S = 118.28 \text{ m}^2$

Surface des murs extérieurs : $S = 218.88 \text{ m}^2$

a. Calcul les coefficients de déperditions K :

$$K = 1 / R \text{ [W/m}^2 \cdot \text{°C]}$$

Mur extérieur : $R = 2.46 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/w}$; $K = 0.40 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$

Mur intérieur : $R = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/w}$; $K = 4.54 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$

Plancher bas : $R = 1.68 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/w}$; $K = 0.59 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$

Plancher intermédiaire : $R = 1.44 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/w}$; $K = 0.69 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$

Plancher haut : $R = 1.44 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/w}$; $K = 0.69 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°C}$

3.2- Les déperditions par transmission (DT)_i d'un volume i sont données par :

$$(DT)_i = (Ds)_i + (Dli)_i + (Dsol)_i + (Dlnc)_i \quad [W/°C]$$

- $(Ds)_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur
- $(Dli)_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions à travers les liaisons
- $(Dsol)_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol
- $(Dlnc)_i$ (en $W/°C$) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés

a. Déperditions surfaciques par transmission à travers les parois

Les déperditions surfaciques par transmission à travers une paroi, pour une différence de température de $1\text{ }°C$ entre les ambiances que sépare cette paroi, sont données par la formule:

$$D_s = K \times A \quad [W/°C]$$

- K ($W/m^2.°C$) est le coefficient de transmission surfacique.
- A (m^2) est la surface intérieure de la paroi.

Si la paroi est hétérogène, le coefficient K à utiliser dans les calculs est le coefficient K moyen de la paroi K_{moy} . Celui-ci est donné par formule ci-après :

$$K_{moy} = \frac{\sum K_i A_i}{\sum A_i} \quad [W/m^2.°C]$$

Murs extérieurs avec menuiseries :

$$K_{\text{moy}} = 6.91 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°c}$$

$$\text{Plancher haut : } D_s = 65.89 \text{ w/°c}$$

$$\text{Déperditions thermiques surfaciques : } D_s = 87.55 \text{ w/°c}$$

$$\text{Déperditions thermiques surfaciques : } D_{s \text{ total}} = \text{w/°c}$$

b. Déperditions À Travers Les Ponts Thermiques :

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique, D_{li} pour une différence de température de 1 °C , sont données par la formule :

$$D_{li} = K_l \times L [\text{W/°C}]$$

- $K_l (\text{W/m} \cdot \text{°C})$ représente le coefficient de transmission linéique de la liaison;
- $L (\text{m})$ représente la longueur intérieure de la liaison.
 - **Calcul Simplifié**
 - Les déperditions par ponts thermiques pour tout le logement peuvent être évaluées à 20% des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement, soit :

$$\sum (k_l \times L) = 0,20 \sum (K \times A) [\text{W/°C}]$$

3.3- Projet modélisé et son comportement de référence :

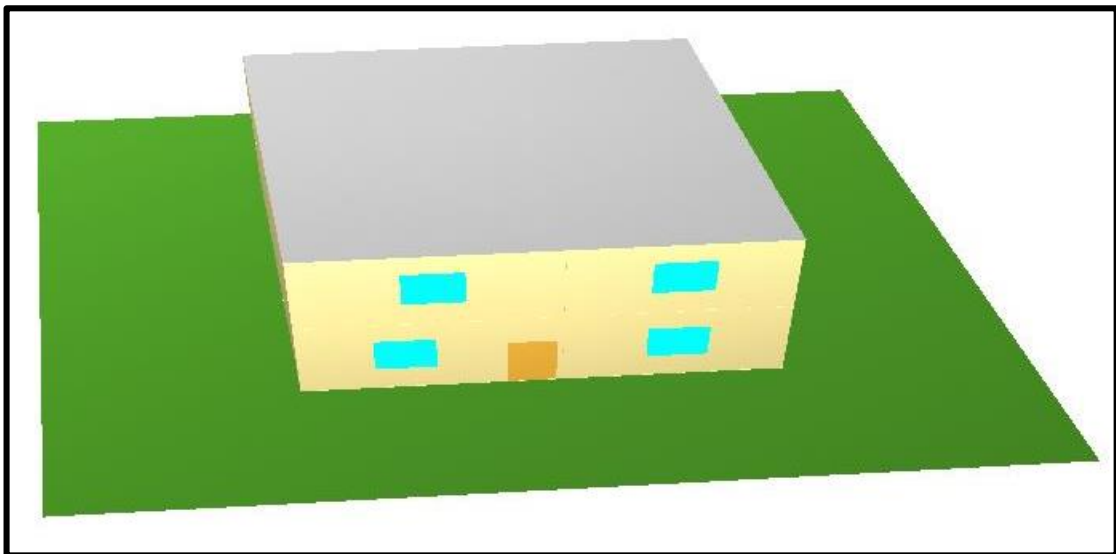


Figure 3.3.1 : Modélisation de 3D de l'habitation sur ALCYONE

Les plans :

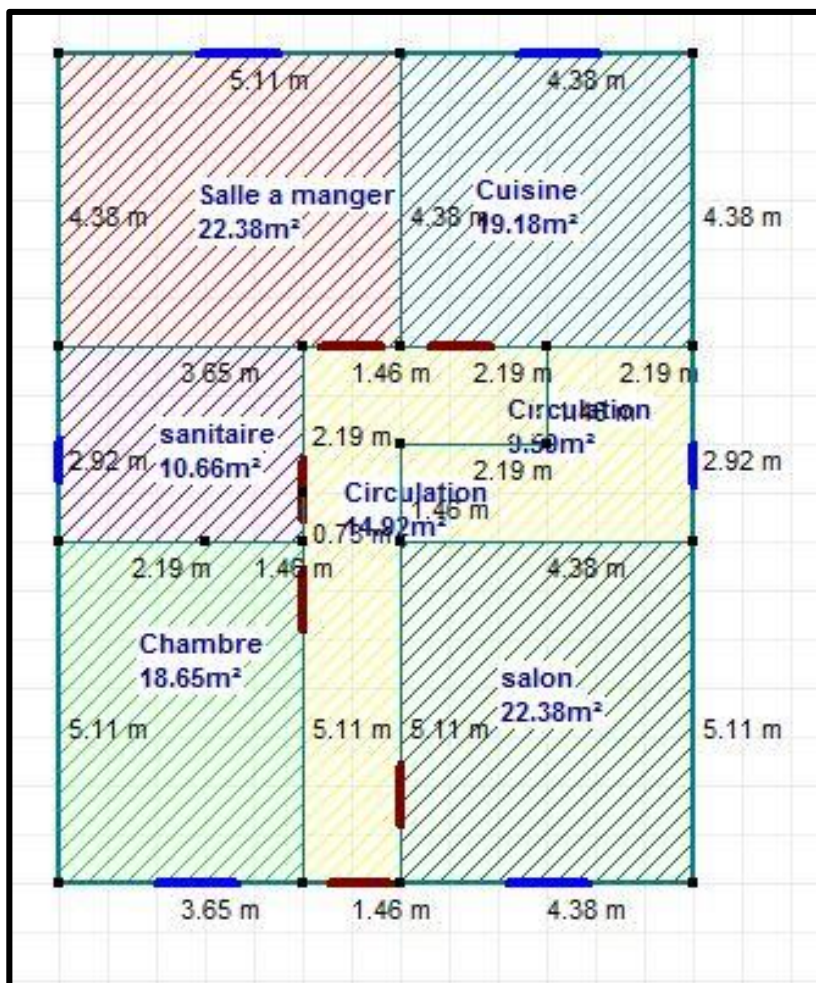


Figure 3.4: le plan de Rez-de-chaussée sur ALCYONE

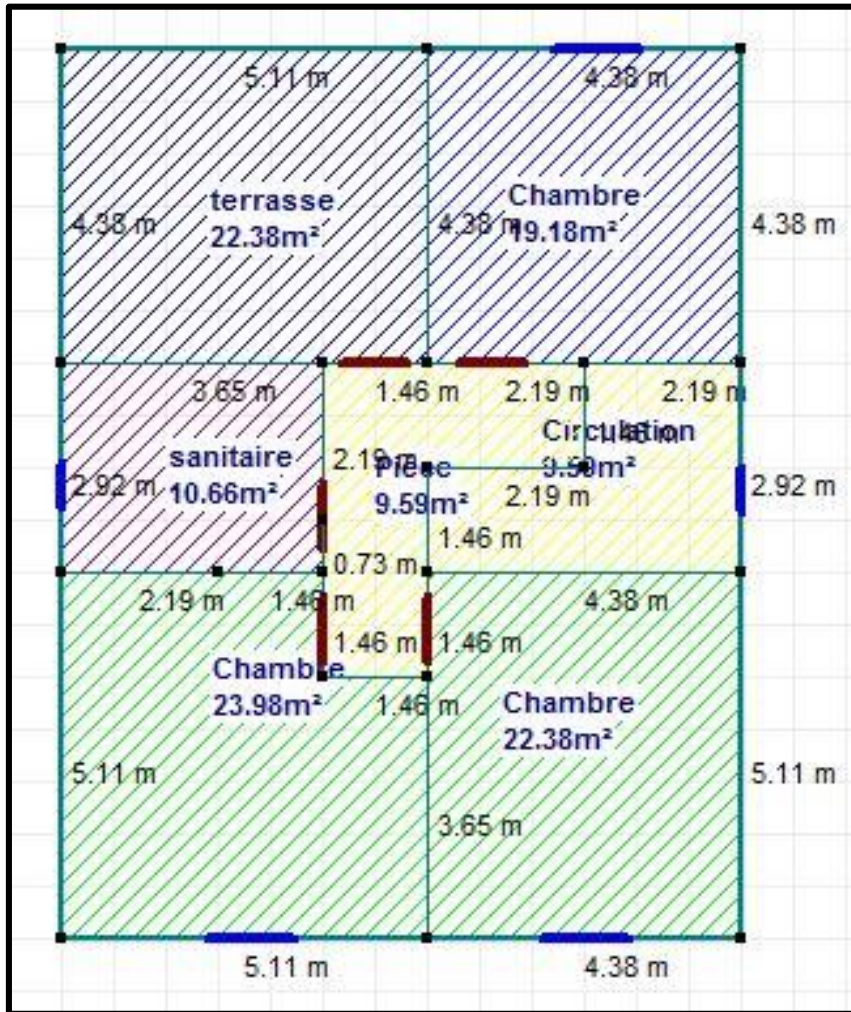


Figure 3.5: Le plan de 1^{er} étage sur ALCYONE

Les Zones :

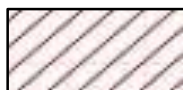
Zone 01 : Salon



Zone 05 : Cuisine



Zone 02 : Salle à manger



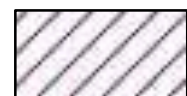
Zone 06 : Circulation :
Couloir,



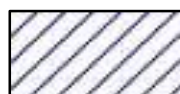
Zone 03 : 3 chambres



Zone 07 : Sanitaire



Zone 04 : Chambre



3.4- Description des systèmes constructifs et conditions aux limites sous PLEIADE COMFIE :

3.4.1- Description des parois : Le logiciel PLEIADE-COMFIE possède une grande base de données de matériaux, et même on peut faire rentrer d'autres éléments connaissant leurs masses volumiques, leurs conductivités thermiques et leurs capacités ther

Caractéristiques de la composition

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ³	λ	R
BTS	M	14.0	238	1.15	0.12
Polystyrène expansé	M	10.0	3	0.04	2.56
BTS	M	29.0	493	1.15	0.25
Total		53.0	734		2.93

Extérieur ↓ Intérieur

Tableau 3.1 : Composition de Mur extérieur

Caractéristiques de la composition

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ³	λ	R
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06
Brique creuse de 5 cm	E	5.0	36	0.50	0.10
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06
Total		9.0	68		0.22

Extérieur ↓ Intérieur

Tableau 3.2: Composition de Mur intérieur

Caractéristiques de la composition

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
Béton lourd	M	2.0	46	1.75	0.01
Polystyrène expansé	M	6.0	2	0.04	1.54
Béton lourd	M	15.0	345	1.75	0.09
Mortier	M	3.0	60	1.15	0.03
Carrelage	M	2.0	46	1.70	0.01
Total		28.0	499		1.68

Extérieur
↓
Intérieur

Tableau 3.3: Composition de Plancher bas

Caractéristiques de la composition

Classe

Nom

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
Carrelage	M	2.0	46	1.70	0.01
Mortier	M	4.0	80	1.15	0.03
Polystyrène expansé	M	5.0	1	0.04	1.28
Béton lourd	M	15.0	345	1.75	0.09
Enduit plâtre	M	1.0	15	0.35	0.03
Total		27.0	487		1.44

Extérieur
↓
Intérieur

Tableau 3.4: Composition de Plancher isolée (plancher intermédiaire et la toiture)

3.4.2- Les scénarios :

a. Les scénarios d'occupation :

Les scénarios d'occupations permettent de définir le nombre de personnes résidant dans la maison et leur fréquence de présence dans cette dernière. Le but de ces scénarios étant de reproduire la chaleur émise par la présence d'une personne.

L'habitation est occupée par 6 personnes

Liste des scénarios		%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input type="checkbox"/> % de ventilation	0 H								
<input type="checkbox"/> % d'occupation	1 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> cuisine occupation	2 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Famille standard	3 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Salle à manger	4 H		0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Séjour occupation	5 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Zone chambre 1	6 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Zone chambre 2	7 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Consigne de thermostat	8 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Puissance dissipée	9 H		0	0	0	0	0	0	0
	10 H		0	0	0	0	0	0	0
	11 H		0	0	0	0	0	0	0
	12 H		0	0	0	0	0	0	0
	13 H		0	0	0	0	0	0	0
	14 H		0	0	0	0	0	0	0
	15 H		0	0	0	0	0	0	0
	16 H		0	0	0	0	0	0	0
	17 H		0	0	0	0	0	0	0
	18 H		0	0	0	0	0	0	0
	19 H		100	100	100	100	100	100	100
	20 H		100	100	100	100	100	100	100
	21 H		100	100	100	100	100	100	100
	22 H		0	0	0	0	0	0	0
	23 H		0	0	0	0	0	0	0
	24 H		0	0	0	0	0	0	0

Figure 3.6: Occupation de la zone 01 (Séjour)

Liste des scénarios		%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input type="checkbox"/> % de ventilation	0 H								
<input type="checkbox"/> % d'occupation	1 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> cuisine occupation	2 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Famille standard	3 H		0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Séjour occupation	4 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Zone chambre 1	5 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Zone chambre 2	6 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Consigne de thermostat	7 H		0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Puissance dissipée	8 H		100	100	100	100	100	100	100
	9 H		0	0	0	0	0	0	0
	10 H		0	0	0	0	0	0	0
	11 H		0	0	0	0	0	0	0
	12 H		0	0	0	0	0	0	0
	13 H		100	100	100	100	100	100	100
	14 H		0	0	0	0	0	0	0
	15 H		0	0	0	0	0	0	0
	16 H		0	0	0	0	0	0	0
	17 H		100	100	100	100	100	100	100
	18 H		0	0	0	0	0	0	0
	19 H		0	0	0	0	0	0	0
	20 H		100	100	100	100	100	100	100
	21 H		0	0	0	0	0	0	0
	22 H		0	0	0	0	0	0	0
	23 H		0	0	0	0	0	0	0
	24 H		0	0	0	0	0	0	0

Figure 3.7: Occupation de la zone 02 (Salle à manger)

Liste des scénarios		%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input type="checkbox"/> % de ventilation		0 H							
<input type="checkbox"/> % d'occupation		1 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> cuisine occupation		2 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Famille standard		3 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Salle à manger		4 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> séjour occupation		5 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Zone chambre 1		6 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Zone chambre 2		7 H	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Contrôle de thermostat		8 H	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Puissance dissipée		9 H	0	0	0	0	0	0	0
		10 H	0	0	0	0	0	0	0
		11 H	0	0	0	0	0	0	0
		12 H	0	0	0	0	0	0	0
		13 H	0	0	0	0	0	0	0
		14 H	0	0	0	0	0	0	0
		15 H	0	0	0	0	0	0	0
		16 H	0	0	0	0	0	0	0
		17 H	0	0	0	0	0	0	0
		18 H	0	0	0	0	0	0	0
		19 H	0	0	0	0	0	0	0
		20 H	0	0	0	0	0	0	0
		21 H	0	0	0	0	0	0	0
		22 H	0	0	0	0	0	0	0
		23 H	0	0	0	0	0	0	0
		24 H	66	66	66	66	66	66	66

Figure 3.8: Occupation de la zone 03 (3 chambres)

Liste des scénarios		%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
<input type="checkbox"/> % de ventilation		0 H							
<input type="checkbox"/> % d'occupation		1 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> cuisine occupation		2 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Famille standard		3 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Salle à manger		4 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> séjour occupation		5 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Zone chambre 1		6 H	66	66	66	66	66	66	66
<input type="checkbox"/> Zone chambre 2		7 H	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Contrôle de thermostat		8 H	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> Puissance dissipée		9 H	0	0	0	0	0	0	0
		10 H	0	0	0	0	0	0	0
		11 H	0	0	0	0	0	0	0
		12 H	0	0	0	0	0	0	0
		13 H	0	0	0	0	0	0	0
		14 H	0	0	0	0	0	0	0
		15 H	0	0	0	0	0	0	0
		16 H	0	0	0	0	0	0	0
		17 H	0	0	0	0	0	0	0
		18 H	0	0	0	0	0	0	0
		19 H	0	0	0	0	0	0	0
		20 H	0	0	0	0	0	0	0
		21 H	0	0	0	0	0	0	0
		22 H	0	0	0	0	0	0	0
		23 H	0	0	0	0	0	0	0
		24 H	66	66	66	66	66	66	66

Figure 3.9: Occupation de la zone 04 (1 chambre)

b. Les scenarios de Puissance Dissipée :

Cette fonction permet de simuler la chaleur émise par les appareils électroménagers ou tous ce qui pourrait produire de la chaleur autre que les personnes. Pour cela nous avons généré un scenario en particulier pour chaque zone.

Pour la liere zone : séjour(266 watts)

2 lampes (33 watts pour chaque une) de 18h-21h

1 télévision (100 watts)

1 démodulateur (100 watts)

Watts	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	266	266	266	266	266	266	266
20 H	266	266	266	266	266	266	266
21 H	266	266	266	266	266	266	266
22 H	0	0	0	0	266	266	0
23 H	0	0	0	0	266	266	0
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Figure 3.10: Puissance Dissipée zone 01 : séjour

Watts	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	66	66	66	66	66	66	66
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	66	66	66	66	66	66	66
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	66	66	66	66	66	66	66
21 H	66	66	66	66	66	66	66
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Figure 3.10: Puissance Dissipée zone 02 :salle à manger

Watts	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	466	466	466	466	466	466	466
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	466	466	466	466	466	466	466
23 H	466	466	466	466	466	466	466
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Figure 3.11: Puissance Dissipée zone 03 : 3 chambres

Watts	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	233	233	233	233	233	233	233
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	233	233	233	233	233	233	233
23 H	233	233	233	233	233	233	233
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Figure 3.12: Puissance Dissipée zone 04 : 1 chambres

Conclusion :

Ce chapitre englobe les outils de simulation et la simulation station afin de vérifier les déperditions thermiques.

Ainsi que les différentes étapes de modélisation sur Pléiade.



Chapitre 4 :



Simulation, Interprétation des
résultats



Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les étapes suivies dans notre simulation ainsi que les résultats obtenus que nous discutons et détaillerons afin d'avoir une opinion évaluatrice de notre projet.

On va faire une étude comparative entre l'habitation isolée par l'extérieur avec bloc BTS

Et autre simulation complémentaire avec l'intégration d'un mur végétal afin d'améliorer le comportement thermique de l'habitat.

1. Démarches de la simulation :

A partir des données architecturales et des propriétés thermo physiques du matériau, une analyse du comportement thermique est effectuée à l'aide du logiciel «Pléiades+comfie». Pléiade + Comfie a été utilisé sur une habitation

Le déroulement de la simulation a pris comme cheminement :

1. Première étape: concerne l'introduction des données climatiques de région dans lesquelles les rayonnements solaires ont été déterminés par Météonorm..
2. Deuxième étape concerne la description détaillée de l'habitation et les scénarios dans chaque espace.

Synthèse :**1.1. Simulation Sans Consigne De Thermostat :**

La simulation sans consigne nous permet de simuler sans climatisation en été, donc on n'intègre pas les scénarios de consigne de thermostat au niveau de fonctionnement des zones thermiques sous l'interface du logiciel de simulation PLEIADE + COMFIE.

Cette simulation nous permet de voir clairement les extrêmes de température à l'intérieur de notre habitation d'étude, sans climatisation, et mesurer le taux d'inconfort qui peut être le concept de notre habitation nous assurant sans aucune consommation d'énergie.

Les scénarios intégrés sont :

- Scénario d'occupation.
- Scénario d'occultation.
- Scénario de ventilation.
- Scénario pour l'énergie dissipée.

1.2 Résultat de simulation sans consigne de thermostat :

a. Synthèse de l'habitation : simulation de la 15 eme semaine à la 43 eme semaine (période estivale)

Après le lancement de la simulation. Pléiades + Comfie nous a donné les résultats suivants

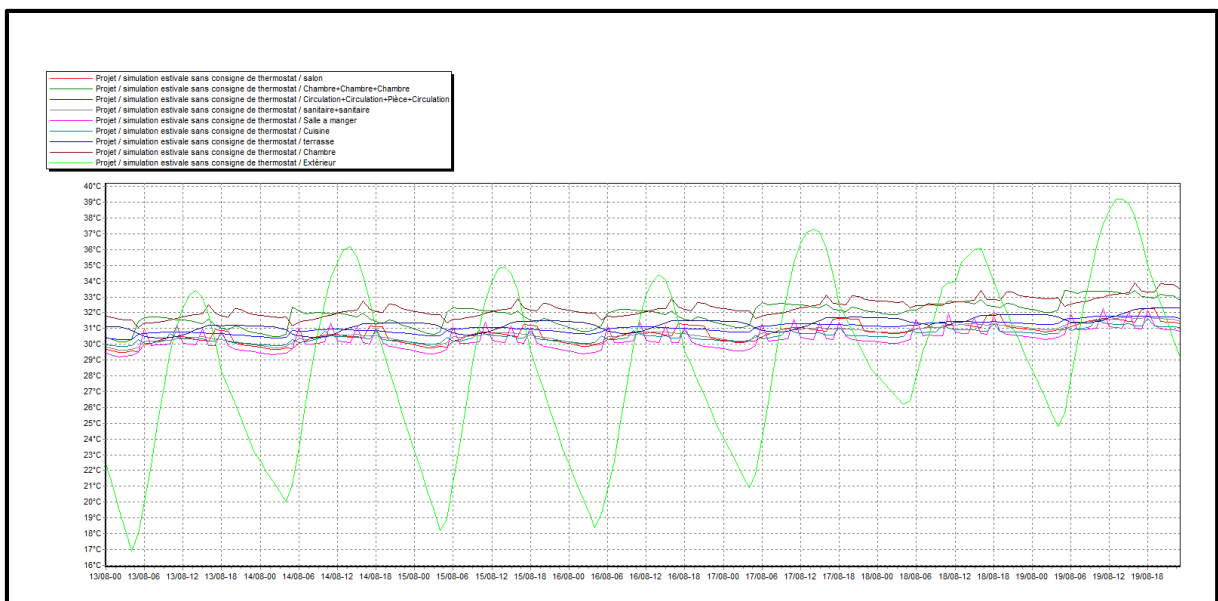
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clm.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clm.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
salon	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	12.91 °C	25.63 °C	32.71 °C
Chambre+Chambre+Chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.23 °C	26.50 °C	34.08 °C
Circulation+Circulation+Pièce+Circulation	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.25 °C	25.91 °C	32.42 °C
sanitaire+sanitaire	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.11 °C	25.54 °C	32.20 °C
Salle à manger	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	12.88 °C	25.33 °C	32.91 °C
Cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.03 °C	25.48 °C	32.30 °C
terrasse	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.03 °C	26.05 °C	32.99 °C
Chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.33 °C	26.93 °C	34.51 °C
Total	0 kWh	0 kWh	0 W	0 W			

Zones	Besoins Chaud-Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets
salon	0.00 kWh/m3	32.35 (1/10°C)	11.22 %	50.21 %	0.00 %
Chambre+Chambre+Chambre	0.00 kWh/m3	37.05 (1/10°C)	11.01 %	50.18 %	0.00 %
Circulation+Circulation+Pièce+Circulation	0.00 kWh/m3	31.81 (1/10°C)	3.87 %	0.00 %	0.00 %
sanitaire+sanitaire	0.00 kWh/m3	32.05 (1/10°C)	6.40 %	0.00 %	0.00 %
Salle à manger	0.00 kWh/m3	29.99 (1/10°C)	16.00 %	47.54 %	0.00 %
Cuisine	0.00 kWh/m3	27.83 (1/10°C)	7.17 %	48.60 %	0.00 %
terrasse	0.00 kWh/m3	34.14 (1/10°C)	6.38 %	0.00 %	0.00 %
Chambre	0.00 kWh/m3	41.61 (1/10°C)	10.39 %	51.44 %	0.00 %

Tableau 4.1 : Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat

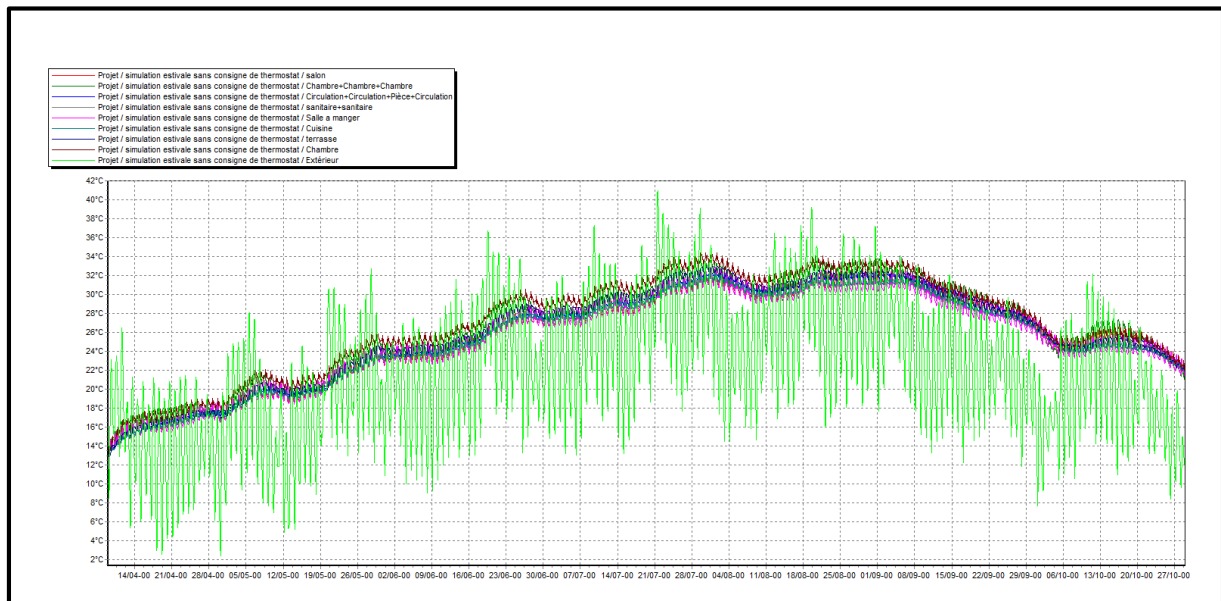
b. Visualisation graphique :

Après simulation, on obtient le graphe suivant pour la semaine la plus chaude durant toute l'année Pour voir la différence de température entre l'extérieure et l'intérieur, et aussi la perturbation de température dans les différentes zones.



graphe 4.1 : Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat de la semaine la plus chaude

Une autre simulation a été faite pour obtenir le grave suivant pour toute l'année Pour voir la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur, et aussi la perturbation de température dans les différentes zones.



Graph 4.2: Récapitulatif des besoins en été sans consigne thermostat de toute l'année

2. Proposition d'amélioration passive de notre cas d'étude :

2.1- Intégration d'un mur végétal :

Dans le premier chapitre, nous avons souligné la convergence des différentes expériences sur les critères et méthodes d'évaluation de l'impact de l'écran végétal sur le confort thermique des bâtiments tels que la comparaison entre le mur végétalisé et le mur nu, avec la mesure de certains paramètres à savoir : la température, l'humidité relative, etc.

A partir de ces éléments, et afin de concrétiser l'objectif de cette recherche qui rappelle le, consiste en l'évaluation de l'influence de la végétation sur le comportement thermique des bâtiments sous le climat de Blida.

2.2- Hypothèses de l'étude :

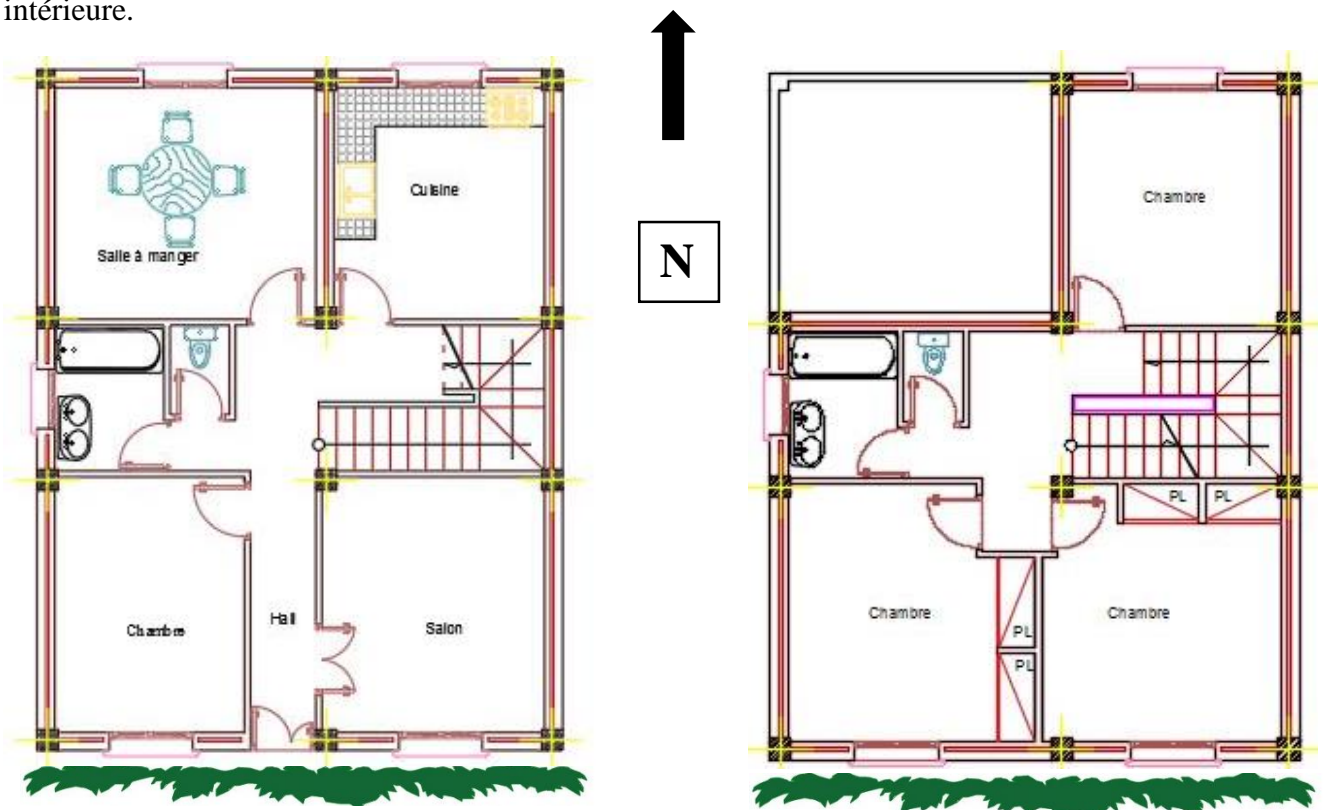
- Hypothèse principale :

- La végétation attenante aux bâtiments constitue une protection saisonnière susceptible de remédier aux problèmes liés aux surchauffes, procure de l'ombrage et réduit donc l'insolation directe sur les bâtiments. Elle constitue, par conséquent, une stratégie efficace de rafraîchissement sous le climat de la ville de Blida.

- Hypothèses secondaires :

- La vapeur d'eau émise par évapotranspiration des feuilles de la végétation grimpante permet de rafraîchir l'air ambiant à côté du bâtiment (joue un rôle d'enveloppe thermique complémentaire) et par conséquent, concourt à la régulation de l'ambiance thermique intérieure.

- De part sa densité, la vigne vierge vraie constitue un dispositif performant d'ombrage saisonnier et de rafraîchissement en période estivale comparée aux autres plantes grimpantes. Plus le feuillage est dense, plus grande est sa performance thermique sur l'ambiance intérieure.



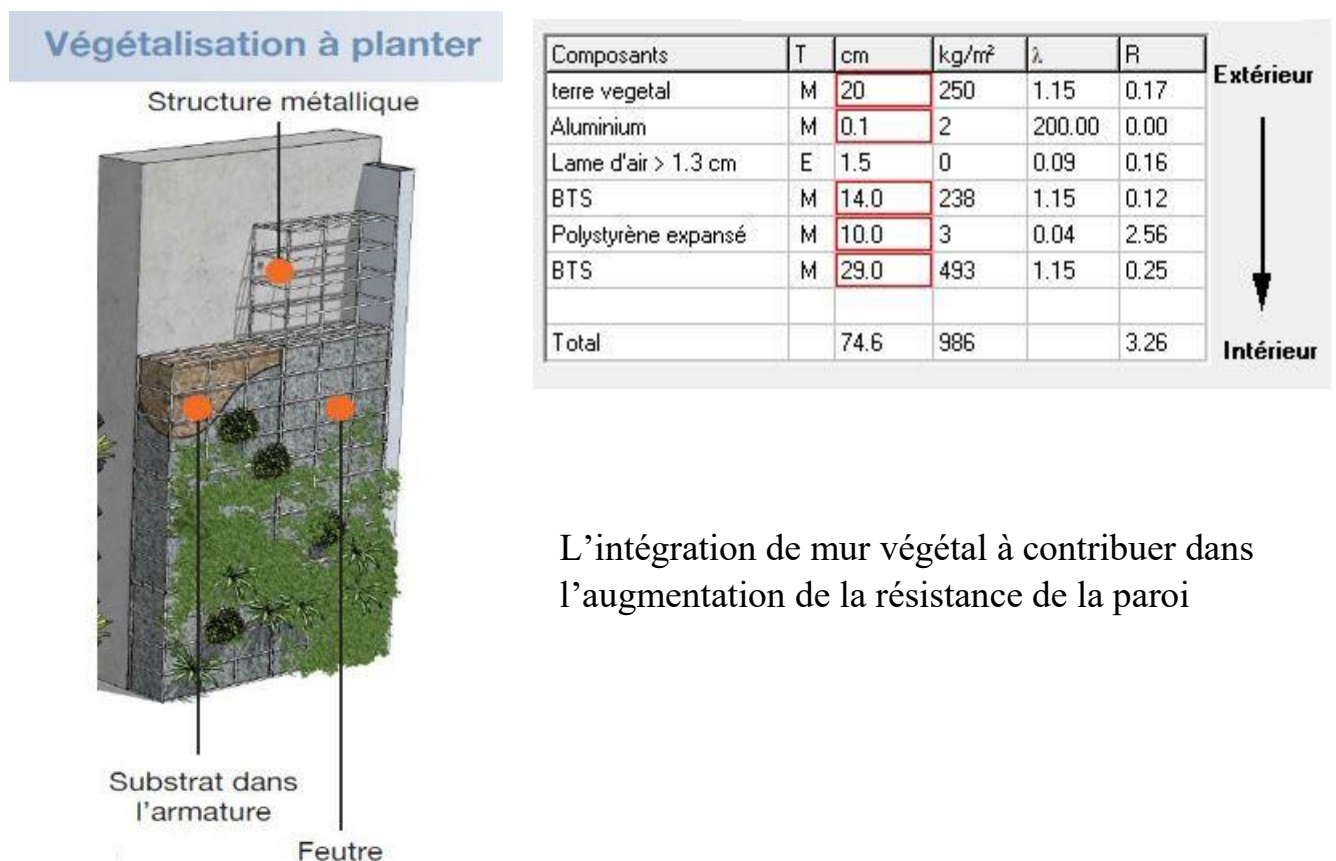
Le but de notre travail est de savoir tous le comportement thermique d'un habitat dans des différentes situations, le plus important de savoir les appliqués par un des logiciels de simulation et aussi pour savoir améliorer énergétiquement à partir de connaître son concept architectural et son site géographique et autres détails comme le nombre d'occupant.

Pour atteindre cet objectif, on essaye d'améliorer le confort thermique de cette habitation par l'intégration d'un mur végétal, afin de pouvoir passer d'un habitat actuel vers un habitat plus performant en matière d'énergie.

C'est dans cette étape qu'on doit faire la simulation de l'intégration d'un mur végétal à travers la synthèse de la recherche bibliographique et les paramètres propre à notre projet tel que la situation l'orientation et les données climatiques de la région ainsi que les caractéristiques du mur végétal qui influent sur le comportement de l'enveloppe tel que la surface végétalisée, les démentions de feuillage et leurs densités et la hauteur du support.

2.3- Simulation après l'intégration d'un mur végétal :

2.3.1- La composition de la paroi végétale :



L'intégration de mur végétal à contribuer dans l'augmentation de la résistance de la paroi

2.4- Résultat de simulation avec l'intégration d'un mur végétal :

2.4.1- Synthèse de l'habitat :

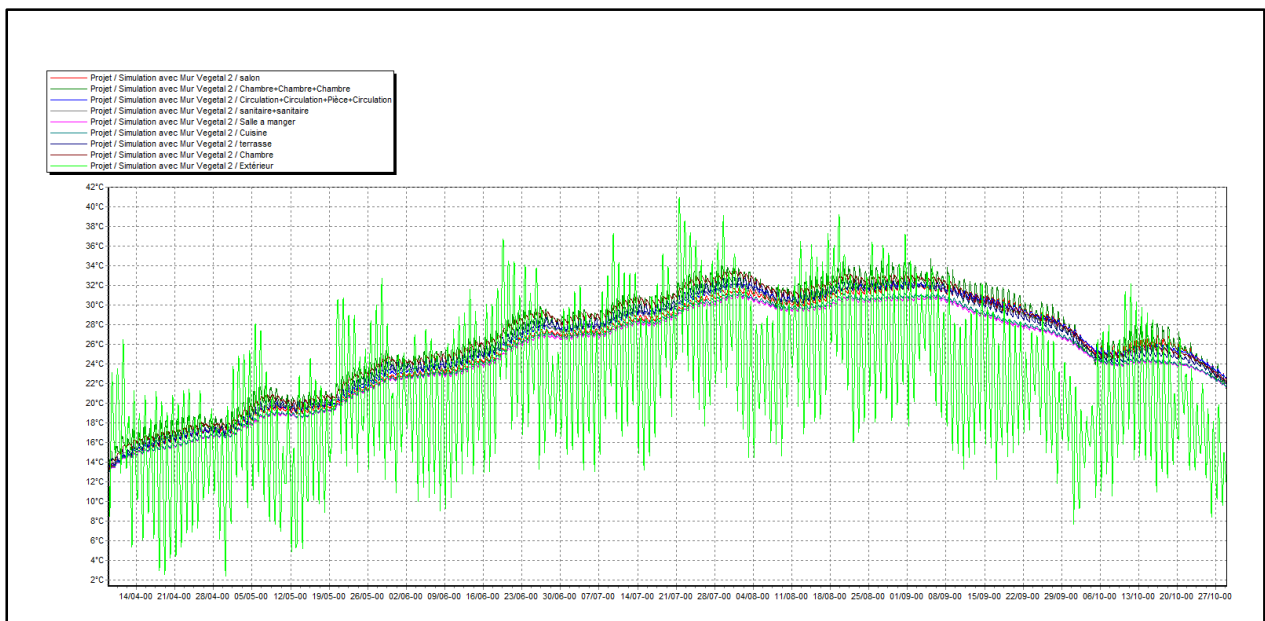
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
salon	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.04 °C	25.61 °C	32.46 °C
Chambre+Chambre+Chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.04 °C	26.58 °C	34.69 °C
Circulation+Circulation+Pièce+Circulation	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.23 °C	25.86 °C	32.52 °C
sanitaire+sanitaire	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.24 °C	25.82 °C	32.29 °C
Salle à manger	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.03 °C	24.83 °C	31.11 °C
Cuisine	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.04 °C	25.02 °C	31.40 °C
terrasse	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.30 °C	25.91 °C	32.80 °C
Chambre	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.28 °C	26.52 °C	33.46 °C
Total	0 kWh	0 kWh	0 W	0 W			

Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Parti de besoin nets
salon	0.00 kWh/m3	31.57 (1/10°C)	5.30 %	0.00 %	0.00 %
Chambre+Chambre+Chambre	0.00 kWh/m3	38.80 (1/10°C)	14.67 %	0.00 %	0.00 %
Circulation+Circulation+Pièce+Circulation	0.00 kWh/m3	31.89 (1/10°C)	4.43 %	0.00 %	0.00 %
sanitaire+sanitaire	0.00 kWh/m3	30.89 (1/10°C)	4.03 %	0.00 %	0.00 %
Salle à manger	0.00 kWh/m3	25.18 (1/10°C)	3.30 %	0.00 %	0.00 %
Cuisine	0.00 kWh/m3	27.13 (1/10°C)	3.90 %	0.00 %	0.00 %
terrasse	0.00 kWh/m3	33.22 (1/10°C)	7.74 %	0.00 %	0.00 %
Chambre	0.00 kWh/m3	38.44 (1/10°C)	5.12 %	0.00 %	0.00 %

Tableau 4.2 : Récapitulatif des besoins en été avec le mur végétal

Après simulation, on obtient le graphe suivant pour la semaine la plus chaude durant toute l'année. On a constaté une diminution de la température intérieure dans les zone ou on a intégré le mur végétal

2.4.2- Visualisation graphique :



Graphe 4.3: Récapitulatif des besoins en été avec le mur végétal de toute l'année

Conclusion :

L'intégration verticale de la végétation peut contribuer au comportement thermique de l'enveloppe, car elle permet de créer un microclimat en agissant comme masque au soleil, au vent, au son, et comme source d'humidité et régulation de la température de l'air et des surfaces environnantes.

Conclusion général

L'objectif principal de cette étude définir le comportement thermique de l'habitat avec l'intégration d'un mur végétal.

En première étape nous avons choisi notre cas d'étude qui contient une habitation et leur situation, cette dernière nous a permis de déterminer les données climatiques et de connaître les données géométriques et les éléments de constructions en matière des murs, vitrages, plancher, toituresetc

En deuxième étape nous avons choisi les matériaux.

Enfin grâce au logiciel pléiade+comfie Nous avons fait les simulations pour identifier les besoins de climatisation (période estivale), afin d'améliorer les conditions du confort thermique à l'intérieur du l'habitation. Nous avons proposé des solutions passives en termes d'isolation, la première solution le mur avec blocs BTS et la deuxième solution le couvert végétal.

Références

1. Mémoires :

- ✚ Mémoire de magister de BENHALILOU KARIMA « Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment »
- ✚ Mémoire de doctorat BENHOUBOU MOHAMED NAIM « Evaluation du confort thermique intérieur dans le bâtiment après l'intégration du mur végétal dans les zones semi arides »
- ✚ Mémoire de doctorat de RABAH DJEDJIG « Impacts des enveloppes végétales a l'interface bâtiment microclimat urbain »
- ✚ Mémoire de master 2 de DALEL KAOULA « Étude de l'influence de la végétation extérieure et de la végétalisation des terrasses sur la modification du microclimat »
- ✚ Rapport : La végétalisation des bâtiments
- ✚ Rapport : éco concept mur végétal
- ✚ Fiche de murs et façades végétalisé
- ✚ Fiche de Synthèse Les murs végétaux (Conférence du 31 Janvier 2012)
- ✚ Guide BBP Les Fiches Techniques (Murs et pieds de murs à biodiversité positive)

2. Livre :

- ✚ Traite d'Architecture et d'urbanisme Bioclimatiques

3. Site internet :

- ✚ www.Wikipedia.com
- ✚ www.google.com/image