

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE 8 MAI 45 GUELMA



FACULTE / DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de
master en Architecture**

Option : Architecture écologique

Thème :

**L'IMPACT DES ENVELOPPES VEGETALISEES DANS
L'AMELIORATION DU CONFORT HYGROTHERMIQUE A
L'INTERIEUR D'UN BATIMENT DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
– CAS DE GUELMA**

Encadré par :

Mme MIHOUBI.M

Présenté par :

MESSAAD GHADA

Session juin 2018

Dédicace

Je dédie ce modeste travail. À ma très chère maman, raison de mon existence. Pour tes sacrifices, ton soutien, ta générosité et ta tendresse. Tu étais toujours là près de moi pour me soutenir, m'encourager et me guider avec tes précieux conseils. Aucun mot ne saurait exprimer ma grande reconnaissance, ma gratitude et mon profond amour. Qu'ALLAH te garde et te procure une bonne santé et une longue vie. Je t'aime Mamiti ♥. À mon cher père, source de sacrifice. Pour ta tendresse, ton soutien, tes conseils et tes encouragements. Qu'ALLAH t'accorde la santé et la longue vie. Je t'aime Papa ♥. À ma chère deuxième mère Louiza, source de tendresse. Pour tes prières, ton soutien et ta générosité. Aucun mot ne saurait exprimer mon immense attachement que je te témoigne, ma reconnaissance et mon profond amour envers toi. Qu'ALLAH te procure la santé et la longue vie. Je t'aime Omi Louiza ♥. À ma chère sœur Dikra. Qu'ALLAH soit à tes côtés et te procure la réussite et le bonheur. Je t'aime ma petite ♥. À mes chers frères Youness et Ziyad. Qu'ALLAH vous garde, je vous souhaite tout le bonheur que vous méritez. Je t'aime mes chers ♥. À mes grands-parents ♥. À mes tantes; et oncles; pour leur soutien et leur générosité durant ces Cinq années. À mes cousines et cousins : Merci énormément ♥. À mes sœurs d'âme : Halima ; Nesrine ; Samek ; Samek ; Nour ; Farida ♥.

Remerciement

Au terme de ce travail, je tiens d'abord à remercier Dieu le tout-puissant pour m'avoir donné le courage et la volonté d'accomplir ce modeste travail et parce que c'est à lui seul qui retourne le soin de l'achèvement de ce mémoire.

Qu'il m'a permis ici de remercier très vivement mes encadreurs Mme Mihoubi et Mme Salah Salah qui ne m'ont pas privé de ses précieux conseils.

Enfin, un remerciement spécial à tous les enseignants du département d'architecture - Quelma;

Et tous qui m'ont aidé de loin ou de près d'accomplir cette tâche.

Résumé

Avec les préoccupations grandissantes du développement durable, le secteur du bâtiment doit répondre à deux exigences fondamentales : maîtriser à la fois les impacts sur l'environnement extérieur, et s'assurer des ambiances intérieures saines et confortables pour les occupants.

Dans les bâtiments éducatifs qui représentent une catégorie d'équipements, qui révèle une importance clé, vu le rôle que joue l'éducation dans le développement des individus et des sociétés, un environnement confortable et adéquat à l'éducation doit être assuré.

Le confort hygrothermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation. Il doit être pris en considération en raison des influences négatives d'un environnement thermique insuffisant sur la performance d'apprendre.

La qualité du confort hygrothermique doit être prise en compte lors des phases initiales de la conception.

La présente étude vise principalement à évaluer et mesurer l'impact des enveloppes végétalisées des bâtiments d'enseignement, dans les universités, sur le confort hygrothermique des étudiants sous un climat sub-humide. Elle tend aussi à relever les végétations les plus efficaces en matière de réponse aux exigences du confort hygrothermique sous les conditions du climat choisi.

Dans le but d'atteindre ces objectifs, l'étude est basée sur la méthode expérimentale à travers la technique de simulation via le logiciel Ecotect@ version 2011. Cette technique permet d'évaluer le confort hygrothermique, dans les salles de classe de département d'architecture à l'université de Guelma choisie comme cas d'étude.

D'ailleurs, les résultats de mesures ont révélé que, les plantes grimpantes sur un mur orienté sud –Est ont un effet bénéfique sur l'ambiance intérieure du bâtiment.

ملخص

مع تزايد انشغالات التنمية المستدامة فإن قطاع البناء ملزم بالإجابة على انشغالين أساسيين التحكم في الأثر على المحيط الخارجي وتأمين أجواء داخلية صحية ومريحة للمستعملين

في المباني التعليمية التي تعكس أهمية كبرى نظرا للدور الذي يلعبه التعليم بالنسبة للأفراد والمجتمعات، لا بد من توفر محيط مريح وملائم للوظيفة التعليمية

تعتبر الرفاهية الحرارية الرطوبة من بين أهم العوامل التي تساهم في خلق محيط تعليمي ملائم لذا وجب أخذها بعين الاعتبار نظرا للأثر السلبي الذي ينجم عن محيط حراري غير ملائم و غير مرضي على النتائج التعليمية. يجب أن تؤخذ جودة الرفاهية الحرارية الرطوبة في عين الاعتبار خلال المراحل الأولية للتصميم

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم وقياس تأثير الأغطية الخضراء في المباني الجامعية على الرفاهية الحرارية الرطوبة لدى الطلاب في مناخ شبه رطب. كما أنه يهدف إلى تحديد الغطاء النباتي الأكثر كفاءة من حيث الاستجابة لمتطلبات الرطوبة الحرارية تحت ظروف المناخ المختار

من أجل تحقيق هذه الأهداف، تستند الدراسة إلى الطريقة التجريبية من خلال تقنية المحاكاة باستخدام برنامج بالكمبيوتر

هذه التقنية تجعل من الممكن تقييم الراحة الحرارية المتجانسة في الأقسام الدراسية بقسم الهندسة المعمارية. في جامعة قلمة التي اختيرت كدراسة حالة

في الواقع، أظهرت نتائج القياسات أن النباتات المتسلقة على الجدار الذي يواجه الجنوب الشرقي له تأثير مفيد على البيئة الداخلية للمبنى

Abstract

With the growing concerns of sustainable development, the sector of the building must answer two fundamental requirements: to control the environmental impacts external, and to make sure of healthy and comfortable interior environments for the occupants.

In the educational buildings which represent a category of equipment, which reveals a key importance, considering the role that education plays in the development of the individuals and the companies, a comfortable and adequate environment for education must be assured.

Hygrothermic comfort is one of the main features which contribute to the creation of an environment favourable for education. It must be taken into account because of the negative influences of an insufficient thermal environment on the performance to learn. The quality of hygrothermic comfort must be taken into account at the time of the initial phases of the design.

The main objective of this study is to evaluate and measure the impact of green building envelopes in universities on the hygrothermal comfort of students in a sub-humid climate. It also tends to identify the most efficient vegetation in terms of response to hygrothermal comfort requirements under the conditions of the chosen climate.

In order to achieve these objectives, the study is based on the experimental method through the simulation technique using the Ecotect @ version 2011 software. This technique makes it possible to evaluate the hygrothermal comfort, in the department classrooms. architecture at the University of Guelma chosen as a case study.

In fact, the results of measurements revealed that climbing plants on a south-east facing wall have a beneficial effect on the building's indoor environment.

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Résumés I

Sommaire IV

Table de Figures : IX

Table de tableaux..... XII

Introduction Générale

Introduction thématique 1

Problématique..... 2

Les hypothèses 3

L'objectif..... 3

Méthodologie et outils de recherche 3

Chapitre I : Positionnement théorique

Introduction 5

I.1 Confort hygrothermique..... 5

I.1.1 Les paramètres du confort hygrothermique 5

I.1.1.1 La température de l'air..... 5

I.1.1.2 La température des parois (moins de 4 de différence avec l'air ambiant)... 6

I.1.1.3 L'humidité relative de l'air 6

I.1.1.4 La vitesse de l'air..... 7

I.1.1.5 La tenue vestimentaire 7

I.1.1.6 Le métabolisme..... 8

I.1.2 Les aspects du confort thermique 9

I.1.2.1 L'aspect physiologique : la thermorégulation 9

I.1.2.2 L'aspect physique : les échanges de chaleur 9

I.1.2.2.1 L'échange par conduction 10

I.1.2.2.2 L'échange par convection..... 10

I.1.2.2.3 L'échange par rayonnement 10

I.1.2.2.4 L'échange par évaporation 10

I.1.2.3	L'aspect psychologique	11
I.2	Les équipements éducatifs	11
I.2.1	Education.....	11
I.2.2	Enseignement	11
I.2.3	Les bâtiments éducatifs	12
I.2.4	Les établissements d'enseignement supérieur	12
I.3	Les enveloppes végétales.....	13
I.3.1	Toitures végétalisées	13
I.3.1.1	Typologie des toitures végétalisées	16
I.3.1.1.1	Extensive	17
I.3.1.1.2	Intensive	17
I.3.1.1.3	Semi-intensive	17
I.3.1.2	Les avantages des toitures végétalisées	18
I.3.1.3	Les inconvénients des toitures végétalisées.....	19
I.3.2	Façades végétalisées.....	19
I.3.2.1	Plantes grimpantes.....	20
I.3.2.2	Murs Vivants	20
I.3.2.2.1	Murs modulaires Avec substrat de croissance.....	20
I.3.2.2.2	Murs en mode de croissance hydroponique	20
Murs combinés :	20
I.3.2.3	Les avantages des murs végétalisés	21
I.3.2.4	Les inconvénients des façades végétalisées.....	22
I.4	L'influence de l'environnement physique des bâtiments éducatifs sur les capacités d'apprendre.....	22
I.5	La végétalisation et le confort	24
Conclusion.....		25

Chapitre II : Impact Des Plantes Sur Le Confort Des Bâtiments

Introduction	26	
II.1	Performances de refroidissement des plantes grimpantes	26
II.1.1	Effets thermiques des murs couverts de lierre.....	26
II.1.1.1	Expérience à Hong Kong	26
II.1.1.2	Expérience à Pékin	30

II.1.1.2.1 Les outils de mesure	31
II.1.1.2.1.1 Thermocouples :.....	31
II.1.1.2.2 Anémomètre :.....	31
II.1.1.2.3 Pyranomètre	31
II.1.2 Effets thermiques d'une variété de vignes sur les températures des murs	33
II.1.2.1 Essai des vignes grimpant contre un mur de brique orienté sud.....	33
II.1.3 Effets thermiques des vignes sur l'environnement thermique interne d'une façade vitrée.....	35
II.2 Efficacité énergétique et performance thermique d'une toiture végétale	37
II.3 Méthodes de calculs.....	41
II.3.1 Méthode in situ	42
II.3.2 Méthode numérique ou informatisée	42
II.4 La méthode appliquée dans le cas d'étude	42
II.4.1 La simulation	42
II.4.1.1 Présentation du logiciel « ECOTECT »	42
Conclusion	43
Chapitre III : Analyse de cas d'étude	
Introduction	44
III. Étude climatique	44
III.1.1 Présentation de la ville.....	44
III.1.1.1 Climat de Guelma	45
III.1.1.2 Diagramme ombro-thermique de Guelma.....	47
III.1.1.3 Diagramme solaire de Guelma.....	48
III.1.1.4 Le diagramme en thermoiso-plèthes de Guelma	50
III.1.1.5 Microclimats de la ville	52
III.1.1.6 Eléments influençant le microclimat.....	52
III.1.1.6.1 Relief.....	52
III.1.1.6.2 Potentialités hydrauliques :	52
III.1.1.6.3 Potentialités forestières	54
III.1.1.7 Les sources thermales	54
III.2 Analyse de cas d'étude : département d'architecture à l'université du 8 mai 1945 Guelma.....	54
III.2.1 Présentation et situation du projet.....	54
III.2.1.1 Plan de masse.....	55
III.2.1.2 Les façades	56

III.2.1.3	Volume	56
III.2.1.4	Etude des plans	57
III.2.1.4.1	Plan de rez-de-chaussée.....	57
III.2.1.4.2	Plan de 1 ^{er} étage	57
III.2.1.4.3	Plan 2 ^{ème} étage.....	58
III.2.2	Application sur le cas d'étude (simulation).....	58
III.2.2.1	Etapas de travail par Ecotect.....	58
III.2.2.1.1	Préparation	59
III.2.2.1.2	Dessin.....	60
III.2.2.1.3	Analyse :	62
III.2.2.1.4	Interprétation des résultats.....	62
Conclusion.....		64

Chapitre IV : Processus de Conception

Introduction	65
IV.1 ANALYSE DES EXEMPLES.....	65
IV.1.1 LE MRC (MOLECULAR RESEARCH CENTER).....	65
IV.1.1.1 Situation.....	66
IV.1.1.2 Conception et construction.....	66
IV.1.1.3 Plan de masse	66
IV.1.1.4 Façades	67
IV.1.1.5 Etude de l'intérieur du bâtiment :	68
IV.1.1.6 Le programme.....	70
IV.1.2 THE FRANCIS CRICK INSTITUTE	71
IV.1.2.1 Situation.....	72
IV.1.2.2 Conception et construction	72
IV.1.2.3 L'aspect extérieur	73
IV.1.2.4 Plan de Masse.....	73
IV.1.2.5 Les façades.....	74
IV.1.2.6 Volumétrie.....	74
IV.1.2.7 Etude de l'intérieur du bâtiment	75
IV.1.2.8 Le programme.....	78
IV.1.2.9 Un Projet écologique.....	78
IV.2 Programme du centre de recherche	79

IV.3	L'analyse du terrain	85
IV.3.1	Présentation.....	85
IV.3.2	Les critères de choix du site:	85
IV.3.3	Limites du terrain	85
IV.3.4	La topographie du terrain.....	87
IV.3.5	L'accessibilité	87
IV.3.6	Les données climatiques du terrain	88
IV.4	Mise en forme du projet.....	88
IV.4.1	La 1 ère étape : les axes du terrain	88
IV.4.2	La 2ème étape : les alternatives de composition	89
IV.4.3	La 3ème étape : l'organisation spatiale (Zoning)	90
IV.4.5	La 4ème étape : la forme	90
IV.4.6	La 5ème étape : schéma de principe	90
	Conclusion	91
	 Conclusion Générale	 92
	Références Bibliographiques	95

Table de Figures :

Figure 1 Relation entre la température et l'humidité relative (Source : www.batitherm.ch)	7
Figure 2 Relation entre l'isolation thermique et le dégagement de la chaleur spécifique du corps humain.....	8
Figure 3 Production de chaleur en fonction de l'activité.....	8
Figure 4 L'immeuble du ministère de Finances. Seine-Saint-Denis.	13
Figure 5 Les composants de toit végétal.....	16
Figure 6 Typologie des toitures végétalisées (Source : agamede.free.fr).....	17
Figure 7 Mur végétal, musée de Quai Branly France	19
Figure 8 Model du mur couvert de lierre.....	27
Figure 9 Rapport entre HF et H.....	28
Figure 10 Modèle de température dans un mur couvert de lierre (Source : L. ZAIYI et T. JINYEU 2000)	29
Figure 11 Relation entre HF et rapport de couverture (r)	29
Figure 12 Vue Ouest de la bibliothèque d'université de Tsinghua.....	30
Figure 13 Installation expérimentale	31
Figure 14 Variation des températures pendant le jour	32
Figure 15 Transfert d'énergie à la couche de feuille le 27-07-1999 (Source : D et WANG , 1999).....	33
Figure 16 Vigne de Campsis sur un mur sud de Brique	33
Figure 17 Températures maximale journalières en septembre 2001	34
Figure 18 Le Bioshader	35
Figure 19 Ecart de température entre la salle d'essai et la salle témoin.....	36
Figure 20 séparation de deux toit : le toit vert (à gauche) et le toit de référence (à droite)	37
Figure 21 Fluctuations journalières des températures sur un toit.....	38
Figure 22 Modèle des deux toitures simulées.....	39
Figure 23 Variations de températures journalières du toit de référence, toit vert et l'air ambiant, par saison (Nov 2000 à sept 2001)	39
Figure 24 Comparaison du flux de chaleur avant et après végétalisation du toit	41
Figure 25 carte délimitation de la ville de Guelma - source : auteur	44
Figure 26 interprétation des données météorologiques de Guelma : période 95-2004(source : météo 2004)	46
Figure 27 Diagramme ombro-thermique de Guelma.....	47
Figure 28 digramme frontaux de la ville de Guelma	48
Figure 29 Diagramme polaire de Guelma (présentation de la zone de surchauffe en noir	48
Figure 30 Calculatrice des températures horaires.....	50
Figure 31 Courbes d'égales températures (isopleth) par mois et en heure de Guelma.....	51
Figure 32 Différents éléments influençant le microclimat de Guelma.....	51
Figure 33 Répartition de la superficie agricole / SAT (Source : services agricoles de Guelma , 2004).....	51

Table de figures

Figure 34 Barrage de Bouhamdene	52
Figure 35 foret de beni salah	53
Figure 36 plan de situation de département	54
Figure 37 plan de masse	54
Figure 38 la façade latérale	55
Figure 39 volumétrie de département	55
Figure 40 Plan Rez-de-chaussée(Source : Auteur)	56
Figure 41 plan 1èr étage (Source : Auteur)	56
Figure 42 organigramme de 2éme étage.....	57
Figure 43 première étape de téléchargement des données climatiques	58
Figure 44 le fichier climatique de Guelma	58
Figure 45 le Plan sur ecotect	59
Figure 46 la fixation de la hauteur sur Ecotect	59
Figure 47 choix du matériau de construction "Brick"	60
Figure 48 la salle concernée par la simulation sur Ecotect	60
Figure 49 la période et l'heure d'étude	61
Figure 50 la dernière étape de l'analyse.....	61
Figure 51 les résultats obtenus de l'analyse sur Ecotect	62
Figure 52 les résultats de simulation après l'intégration de la végétation.....	62
Figure 53 Le MRC (Mollecular Recherche Center).....	65
Figure 54 situation du MRC.....	66
Figure 55 Plan de masse.....	67
Figure 56Façade principale du MRC.....	67
Figure 57 plan RDC	68
Figure 58 Organigramme du plan RDC	68
Figure 59 Plan d'étage	69
Figure 60 Organigramme du plan d'étage.....	69
Figure 61 The Francis Crick Institute.....	71
Figure 62: situation de l'institut	72
Figure 63: L'aspect extérieur de l'institut.....	73
Figure 64 : Plan de masse.....	73
Figure 65 : façade principale du centre	74
Figure 66 : le volume du centre.....	76
Figure 67:Plan du RDC	76
Figure 68: l'intérieur du centre	76
Figure 69 : Plan type du Centre.....	76
Figure 70 : Les laboratoires du Crick Institute	77
Figure 71: coupe du centre	77
Figure 72: situation du terrain.....	85
Figure 73: limites du terrain	86
Figure 74:la topographie du terrain	87

Table de figures

Figure 75: accessibilité au terrain.....	87
Figure 76: les données climatiques du terrain	88
Figure 77 : les axes majeurs du terrain.....	88
Figure 78: la masse du projet	89
Figure 79: le Zoning	89
Figure 80: l'anticorps.....	90
Figure 81 : schéma de principe	71

Table de tableaux

Tableau 1 les données climatiques de la ville de Guelma.....	47
Tableau 2 Hauteur et azimut du soleil à « Guelma latitude 36° .28' »	49
Tableau 3 Le programme du MRC.....	71
Tableau4: le programme du Crick Institute	78
Tableau 5: tableau du programme retenu	84

Introduction générale

Introduction thématique :

L'éducation n'est pas seulement un bien précieux en soi, mais elle est aussi une composante du développement (Guttman, 2003)¹, elle est «est la clé du développement durable, de la paix et la stabilité au sein des pays et entre les pays, et s'avère donc le moyen indispensable de participer à la vie sociale et économique du 21e siècle, elle-même exposée à une mondialisation accélérée »².

Un effort considérable est consenti pour le développement des équipements éducatifs en Algérie ; depuis que le gouvernement a reconnu un droit à l'éducation matérialisé par l'accès démocratique, gratuit et obligatoire à leur population.

Les politiques publiques, en matière d'éducation, s'inscrivent dans le cadre du développement humain et sont axées sur la poursuite des efforts visant l'amélioration du rendement du système national d'éducation et de formation afin de répondre, quantitativement et qualitativement aux besoins du pays en matière de qualification des ressources humaines.

Donc le souci de construire rapidement et en grande quantité à favoriser un type de construction qui ne semble pas à prendre de tentative réfléchie pour s'adapter aux conditions climatique de chaque région,

D'une autre part, « il est utile de répéter que le rôle premier d'un bâtiment est d'assurer à ses occupants un climat intérieur agréable et peu dépendant des conditions climatiques extérieures » (Roulet, 2004).³

Dans les bâtiments éducatifs qui représentent une catégorie d'équipements, qui révèle une importance clé, vu le rôle que joue l'éducation dans le développement des individus et des sociétés, un environnement confortable et adéquat à l'éducation doit être assuré.

Ainsi, sur le plan scientifique, un environnement climatique adéquat à l'apprentissage et à la santé de ses occupants exige plusieurs conditions. Plusieurs études ont prouvé que l'homme ne pourrait passer à un stade de performance intellectuelle dans des conditions climatiques défavorables. En effet ces dernières sont des résultats de constructions mal

¹ « Publications de l'UNESCO pour le Sommet mondial sur la société de l'information » Guttman 2003.

² <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001355/135528f.pdf>

³ Article « Qualités d'usage des bâtiments et contraintes énergétique : synergie ou antagonisme? » Roulet 2004.

réfléchies en matière d'isolation thermique, de la forme, de l'orientation du bâtiment ou de de matériaux utilisés dans l'enveloppe.

Problématique

À l'origine, le rôle principale de l'enveloppe du bâtiment est de créer un environnement intérieur sain et agréable pour le bien être des occupants, or la plupart du temps cette enveloppe constitue des points faibles générant à eux seuls des ressources d'inconfort thermique de toute saison à cause des échanges thermique entre l'intérieur et l'extérieur

Le confort hygrothermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation. Il doit être pris en considération en raison des influences négatives d'un environnement thermique insuffisant sur la Performance d'apprendre.

La qualité du confort hygrothermique doit être prise en compte lors des phases initiales de la conception. Or si le bâtiment est déjà existant ; **quels sont les choix architecturaux à utiliser pour améliorer le confort hygrothermique à l'intérieur d'un bâtiment éducatif ?**

Vue l'importance du secteur de l'éducation ; assurer un confort hygrothermique agréable, propice à la bonne santé, le bien-être et la capacité d'apprendre des occupants, dans les bâtiments éducatifs se présente comme une préoccupation majeur, certainement dans les climats qui sont caractérisés par des températures des taux d'humidité élevés comme celui de Guelma.

« La qualité architecturale participe aux conditions du confort intérieur, ou réciproquement, le confort offert par le bâtiment est l'un des aspects de son architecture » (Roulet, 2004)⁴. Cependant, la réalité qui se flotte est la standardisation des conditions thermiques par l'utilisation des systèmes mécaniques dont le fonctionnement est prévu indépendamment de la conception globale du bâtiment.

Face à ces conditions, **peut-on par le fait d'agir sur l'enveloppe des bâtiments éducatifs de contrôler au mieux et d'améliorer les conditions du confort**

⁴ Article « Qualités d'usage des bâtiments et contraintes énergétique : synergie ou antagonisme? »Roulet 2004.

hygrothermique intérieur, dans le but de satisfaire les occupants, sans avoir recours aux solutions actives et aux rajouts artificiels ?

En plus de son action efficace sur le microclimat urbain, la végétation peut aussi agir sur les ambiances intérieures des bâtiments. Il s'agit donc de rendre compte du rôle de régulation des ambiances par la végétation à la fois sous l'angle des économies d'énergie et du confort des bâtiments: une stratégie impliquant une réflexion sur une question d'actualité. Dès lors, une question s'impose : **comment la végétation peut-elle améliorer le confort hygrothermique à l'intérieur d'un bâtiment d'enseignement supérieur ?**

Les hypothèses:

- Dans un contexte de développement urbain durable, les toitures et les façades végétales, de typologies variées, ont un potentiel considérable pour répondre à la problématique de l'inconfort à l'intérieur des équipements éducatifs.
- Ainsi, la végétation attenante aux équipements constitue une protection saisonnière susceptible de remédier aux problèmes liés aux surchauffes, procure de l'ombrage et réduit donc l'insolation directe sur les équipements. Elle constitue par conséquent une stratégie efficace de rafraîchissement sous le climat de la ville de Guelma.

Les objectifs :

- La présente étude vise principalement à évaluer et mesurer l'impact de l'enveloppe végétale sur le confort hygrothermique des bâtiments éducatifs sous le climat de Guelma.
- Elle tend aussi à relever les végétations les plus efficaces en matière de réponse aux exigences du confort hygrothermique sous les conditions du climat choisi.

Méthodologie et outils de recherche :

Afin de répondre à ces objectifs, l'étude s'est attelée à confirmer ou à infirmer ces hypothèses à travers une structuration de la recherche qui va s'articuler autour de deux parties :

Une 1ère partie théorique: elle consiste en une recherche bibliographique et documentaire scindée en deux chapitres ayant pour objectif de cerner et de comprendre les éléments théoriques de base en rapport avec le sujet de recherche contribuant à la canalisation de la présente étude vers les objectifs ciblés.

Le premier chapitre a pour objet de définir les différents concepts rappelant le rapport le confort hygrothermique et les équipements éducatifs ainsi que les enveloppes végétalisées. Par la suite, il y a lieu de cibler les effets de la végétation, ses typologies ainsi que ses multiples usages en projet architectural.

Quant au deuxième chapitre, il évoquera une analyse synthétique d'une littérature des différentes recherches scientifiques menées à travers le monde par bon nombre de chercheurs sur l'impact de la végétation comme système de régulation thermique.

Une 2ème partie : concerne le volet pratique, Cette 2ème partie est structurée en deux chapitres. Le premier (troisième chapitre : cas d'étude) est consacré à l'étude climatique de Guelma, cette dernière permet de déterminer les caractéristiques de son climat, d'évaluer les besoins en confort thermique. Au sein du même chapitre une simulation sur un exemple de bâtiment éducatif qui est le département d'Architecture de l'université 08mai 45 a enveloppe nue (non végétalisée) à l'aide d'un programme numérique « ECOTECH », qui permettra de comparer les résultats obtenus avant et après l'intégration de la végétation au niveau de l'enveloppe, dans un but de vérifier la performance et l'efficacité de chacune d'elle sur le confort thermique des bâtiments.

Le deuxième (quatrième chapitre) concerne la programmation et le processus de conception ; commençant par l'analyse des exemples, le choix et l'analyse du terrain, jusqu'à l'obtention de la forme du projet.

L'ensemble de ces quatre chapitres sont initiés d'une introduction générale et finalisés par une conclusion générale.

CHAPITRE I :

POSITIONNEMENT THEORIQUE

Introduction

Le lien le plus élémentaire entre un bâtiment éducatif et son environnement est le besoin d'un confort minimal pour pouvoir se concentrer sur l'étude et accomplir ses tâches.

Afin d'obtenir des espaces d'éducation confortables ; nous avons proposé la stratégie des enveloppes végétalisées comme solution pour améliorer le confort hygrothermique à l'intérieur des équipements éducatifs.

L'objectif du présent chapitre est de clarifier les notions relatives au confort hygrothermique ; aux équipements éducatifs et aux enveloppes végétales.

I.1 Confort hygrothermique

Selon la HQE, le confort hygrothermique est la sensation que ressent une personne par rapport à la température et à l'humidité ambiante du local où elle se trouve.⁵

Ce confort est abordé par sa propre définition et par celle des différents facteurs et paramètres qui prennent part dans son évaluation, bien qu'il est évident que la notion de confort hygrothermique présente un aspect physique qui est « le trait d'union entre le monde physique et l'individu, parce que ses lois traduisent les sensations du biologique (le corps) par rapport au non biologique (l'ambiance thermique)» (Depecker, 1985), elle est aussi relative à de la psychologie et la sociologie.⁶

I.1.1 Les paramètres du confort hygrothermique ⁷

Les paramètres de confort thermique dans le bâtiment sont :

I.1.1.1 La température de l'air

Il intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'homme au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Généralement, pour évaluer le confort thermique dans le bâtiment, la température ambiante de l'air est couplée par d'autres paramètres

⁵GAUZIN-MULLER. Dominique, *L'architecture écologique*. Paris: Ed Le Moniteur, Novembre2002 p 270

⁶ LABRECHE, S. « Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions arides » thèse de magistère université de Biskra.

⁷ M'SELLEM, H « Le confort thermique entre perception et évaluation Par les techniques d'analyse bioclimatique Cas des lieux de travail à Biskra. » thèse de magistère université de Biskra.

climatiques tels que : la vitesse d'air, l'humidité, prendre tout seule peut induire en erreur et ne donne pas une idée précise sur le confort thermique. La température ambiante altère la sensation de chaleur, lorsque le niveau de l'humidité est élevé et la vitesse de l'air faible, la sensation humidité de la peau augmente également avec la température ambiante. Mais sous des conditions, faible humidité et une vitesse de l'air élevée, la peau peut rester sèche même à des températures fortes (malgré l'augmentation de la sueur). La température de l'air ambiant ou température sèche est mesurée par un thermomètre au bulbe sec (thermomètre doit être aplati pour éviter l'influence du rayonnement), l'intervalle de confort va généralement de 18 à 25 C°.

I.1.1.2 La température des parois (moins de 4 de différence avec l'air ambiant) :

Est utilisée dans le calcul des échanges radiatifs des grandes longueurs d'onde entre l'individu et l'environnement. La température des parois couplée à la température de l'air donne une idée sur le confort ressentie (appelée aussi température résultante sèche ou température opérative), cette dernière se détermine selon l'équation suivante :

$$T_{rs} = (T_a + T_p) / 2$$

I.1.1.3 L'humidité relative de l'air

L'humidité relative par définition est : « le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température »⁸. L'humidité détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur (relative à la différence entre les tensions de vapeur d'eau de l'air ambiant et celle de la peau). Dans le cas où le corps humain n'atteint pas à évaporer toute la sueur, une couche liquide se forme sur la peau (peau humidifiée). Les réactions physiologiques et sensorielles dû à l'humidité sont relevés lorsque la vitesse de l'air augmente. Entre 30% et 70% elle pèse peu sur la sensation du confort thermique.

⁸ De Herde André, Liébard Alain, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Éditions du Moniteur, Paris, France, 2005. P : 16

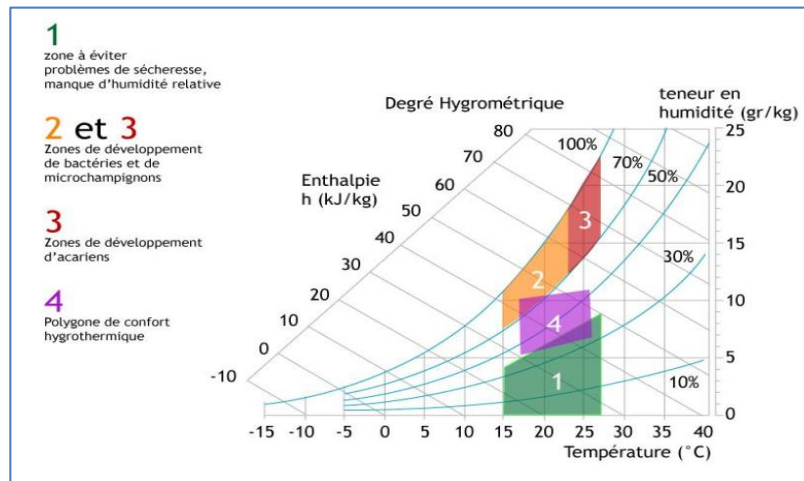


Figure 1 Relation entre la température et l'humidité relative (Source : www.batitherm.ch)

I.1.1.4 La vitesse de l'air

La vitesse de l'air influe sur les échanges convectifs et évaporatifs, à l'intérieur des bâtiments ces vitesses demeurent limitées et ne dépassent pas 0,20m/s.

Toutefois elle est responsable à l'apparition de gêne chez l'occupant, lié à la présence de courants d'air froids ou chauds.

I.1.1.5 La tenue vestimentaire

Elle représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Les vêtements constituent une deuxième barrière thermique après la peau, ils influencent sur les échanges de chaleur convective et radiative, "A des températures de l'air inférieures à 35°C, l'effet est toujours de réduire la perte de chaleur « sèche » du corps et ainsi de produire un effet d'échauffement. A des températures de l'air supérieures à 35°C, les effets des vêtements sont plus complexes. D'un côté ils réduisent le gain de chaleur « sèche » en provenance de l'ambiance mais d'un autre côté, ils augmentent l'humidité et réduisent la vitesse de l'air en contact avec la peau, ce qui se traduit par une diminution du refroidissement résultant de l'évaporation de la sueur"⁹. Mais parfois une partie de l'évaporation se produit par les vêtements par l'effet de réchauffement. Généralement l'effet des vêtements sur la thermique du corps humain est lié à des paramètres internes et d'autres externes :

⁹ GIVONI Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. Editions du Moniteur; Paris, 1978. p : 84

- Les paramètres internes (liés aux vêtements) : la couleur et la perméabilité à l'air des vêtements.

-Les paramètres externes : l'humidité, vitesse de l'air, métabolisme L'unité de la résistance thermique est le "clo", en terme physique le clo est équivalent à $0,18 \text{ fC.h.m}^2/\text{kcal}$.

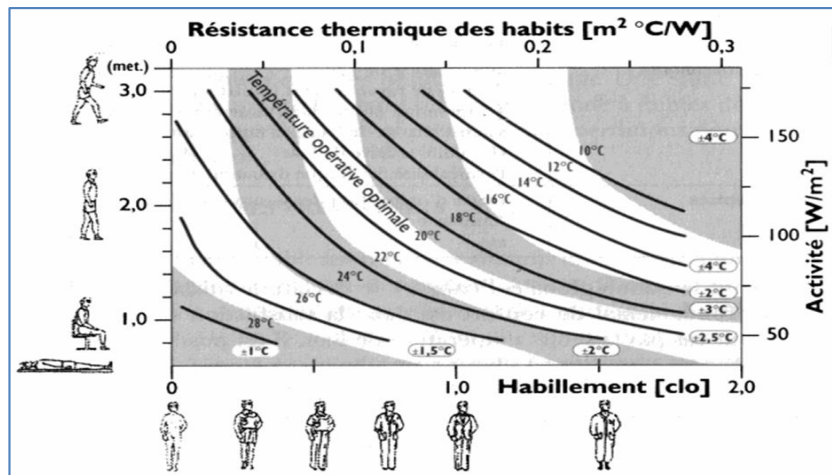


Figure 2 Relation entre l'isolation thermique et le dégagement de la chaleur spécifique du corps humain

(Source : www.batitherm.ch)

I.1.1.6 Le métabolisme

Il s'agit de la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de $36,7 \text{ fC}$. Lorsqu'une personne est en mouvement, un métabolisme de travail correspondant à son activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.

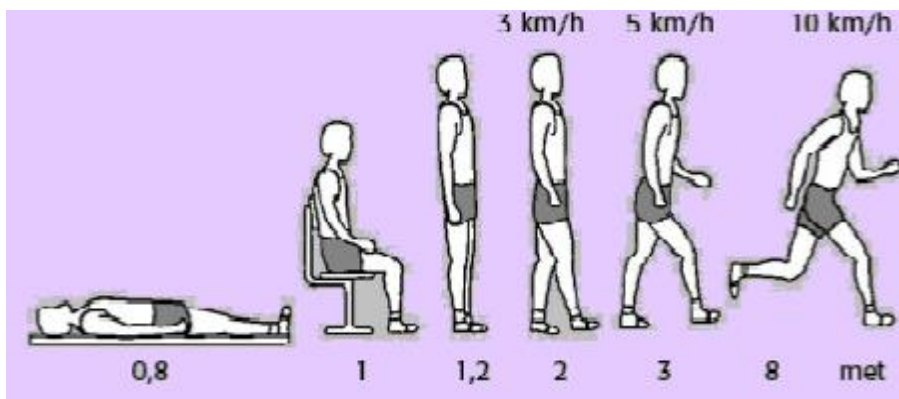


Figure 3 Production de chaleur en fonction de l'activité

Source : Guide technique de la diffusion d'air, 2006

I.1.2 Les aspects du confort thermique

I.1.2.1 L'aspect physiologique : la thermorégulation¹⁰

L'être humain comme tous les mammifères est homéotherme, ce qui signifie qu'il dispose d'un système dynamique de régulation de sa propre température par des échanges de chaleur interne et externe de son corps. En effet, la température du corps humain doit être comprise entre 36.8°C et 37.2°C pour un individu au repos et entre 37.0°C et 37.5°C pour un individu en action. En dessous de 36.5°C et au-dessus 37.5°C, le corps est en situation d'inconfort généralisé.

Les phénomènes permettant de contrôler cette température interne et la maintenir à environ de 37°C sont réunis sous l'appellation de thermorégulation. Lorsqu'un individu est en condition de confort thermique les processus de thermorégulation sont minimes et inconscient.

Les processus de thermorégulation qui permettent de maintenir la température interne sont de deux types :

- La thermorégulation « chimique » (par la production interne de chaleur) ;
- La thermorégulation « physique » (par la modification des paramètres d'ambiances ou de vêtements).

I.1.2.2 L'aspect physique : les échanges de chaleur

Le maintien de la température interne du corps humain autour de 37°C nécessite un équilibre thermique avec son environnement. Pour cela, la chaleur produite à l'intérieur du corps humain et véhiculée à sa surface cutanée doit être compensée par des déperditions de chaleur dans l'environnement. Les fluctuations dans les conditions externes et internes impliquent un état d'équilibre dynamique, l'homéostasie. Si la chaleur produite dans le corps dépasse celle perdue à l'environnement, le corps se

¹⁰MAZARI, M « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou) » thèse de magistère université de Tizi-Ouzou.

réchauffe et sa température interne s'élève et dans le cas inverse il se refroidit avec un abaissement de sa température interne.¹¹

L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement s'effectue selon les modes principaux de l'échange de chaleur dans le milieu physique :

I.1.2.2.1 L'échange par conduction

La conduction concerne l'échange de chaleur par contact direct entre certaines parties du corps et une surface de température différente (le sol, les parois ou le mobilier).¹²

I.1.2.2.2 L'échange par convection

La convection est le transfert de chaleur entre la peau et l'air qui l'entoure. Elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée, peau ou vêtement. Si la température de la peau est supérieure à la température de l'air, la peau va se refroidir. Dans le cas contraire, elle va se réchauffer.¹³

I.1.2.2.3 L'échange par rayonnement

L'échange par rayonnement est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. Il s'agit principalement d'échanges, entre la surface du corps et les surfaces de la pièce. Ainsi, des inconforts froids peuvent être perçus par rayonnement à proximité des parois froides (exemple: mur mal isolé, fenêtre simple vitrage).¹⁴

I.1.2.2.4 L'échange par évaporation

Nous distinguons deux types d'évaporation cutanée, à savoir perspiration et transpiration.

_La perspiration est un phénomène d'évaporation diffusive continue liée à la présence permanente d'eau sur la peau. La quantité d'eau évaporée par perspiration est fonction des conditions hygrométriques de l'air ambiant, mais avoisine 11 g/h par m² de peau.¹⁵

¹¹ **MOUJALLED**, B « Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés » thèse de doctorat, L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon.

¹² Fernandez, P, et Lavigne, P. « Changement d'attitude pour concevoir un cadre bâti bioclimatique : une contribution au développement durable, Techniques de construction », CTQ 013, éditions du moniteur, 2010.

^{13/14} **MAZARI**, M « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou) » thèse de magistère université de Tizi-Ouzou.

¹⁵ **Cordier**, N. « développement et évaluation de stratégies de locaux de grandes dimensions », thèse de doctorat 2007, p 321

_La transpiration (sudation) est un processus de régulation qui se déclenche dès lors que le corps n'est plus en équilibre thermique.¹⁶

I.1.2.3 L'aspect psychologique

L'aspect psychologique concerne la sensation et le comportement de l'individu dans un environnement thermique. D'une manière générale, la sensation thermique est relative à des paramètres liés à l'occupant comme l'âge, le sexe, le poids ... et d'autres sont liés à l'ambiance du local tel que la couleur.

Hensel suggère que l'activité thermo sensorielle, qui amène à donner des jugements sensoriels est qualitative, dépend de l'expérience sensorielle et ne peut pas être basée uniquement sur la physique et la physiologie (Parsons, 2003 cité par Moujalled, 2007).

I.2 Les équipements éducatifs

I.2.1 Education

Selon le dictionnaire LAROUSSE, du latin (*EDUCATIO*), l'« éducation » est l'action d'éduquer, de former, d'instruire quelqu'un ; manière de comprendre, de dispenser, de mettre en œuvre cette formation.¹⁷

Elle est définie par le sociologue français Emile Durkheim comme : « L'action exercée par les générations adultes sur celles qui ne sont pas encore mûres pour la vie sociale. Elle a pour objet de susciter et de développer chez l'enfant un certain nombre d'états physiques, intellectuels et moraux que réclament de lui et de la société politique dans son ensemble et le milieu spécial auquel il est particulièrement destiné » (Durkheim, 1922).¹⁸

I.2.2 Enseignement

D'après l'encyclopédie HACHETTE, «Enseigner » est un acte fondamental qui relie les individus dans le temps et dans l'espace, il apparaît ainsi comme la condition même du tout progrès technique, économique et social.¹⁹

¹⁶ Cordier, N. (2007), op cit,

¹⁷ Dictionnaire LAROUSSE

¹⁸ DURKHEIM. E. (1922), Education et Sociologie, https://www.puf.com/content/%C3%89ducation_et_sociologie .

¹⁹ L'encyclopédie HACHETTE

L'enseignement est l'action de transmettre des connaissances nouvelles ou savoirs à des apprenants, c'est « La mise à disposition de l'étudiant d'occasions où il puisse apprendre. C'est un processus interactif et une activité intellectuelle. Les buts... peuvent être des gains dans les connaissances, un approfondissement dans la compréhension, le développement des compétences en la résolution des problèmes ou encore des changements dans les perceptions, les attitudes, les valeurs et le comportement.» (Brown, 1988 cités par Mboup, 2003). Il implique l'interaction de trois éléments principaux : l'enseignant ; l'élève ou étudiant ; et l'objet de connaissance.²⁰

I.2.3 Les bâtiments éducatifs

Le bâtiment éducatif est considéré comme un des éléments de système interdisciplinaire d'enseignement. La qualité d'un enseignement est étroitement liée à l'architecture au sein de laquelle celui-ci est dispensé. Lorsqu'on conçoit un nouveau bâtiment éducatif, on ne crée pas seulement des murs qui délimitent l'espace, on crée toute une ambiance. Les bâtiments éducatifs doivent être conçus en vue d'atteindre un apprentissage de qualité.

L'apprentissage tout au long de la vie fera des bâtiments scolaires un lieu de ressources pour toute la communauté. Cela exigera des planificateurs et des architectes afin que les mêmes installations soient adaptées à tous les âges de la vie (Beynon, 1998).²¹

I.2.4 Les établissements d'enseignement supérieur

L'enseignement supérieur regroupe toutes les formations postérieures au baccalauréat, les instituts universitaires de technologie (IUT), les instituts universitaires de formation des maîtres (IUFM), les sections de techniciens supérieurs (STS), les classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE), les écoles d'ingénieurs, les écoles de commerce, gestion, vente et comptabilité, les écoles paramédicales et sociales, ... etc.²²

²⁰ **MBOUP. M.** (2003), Evaluation des acquis scolaires, Mémoire DEA en Sciences d'Education, Université Cheikh Anta Diop, Dakar

²¹ **BEYNON. J.** (1998), Installations et bâtiments éducatifs : ce que les planificateurs doivent - savoir, UNESCO.

²² <https://www.insee.fr>

I.3 Les enveloppes végétales

I.3.1 Toitures végétalisées

Le terme « toiture végétalisée » est un terme générique utilisé pour désigner une plantation de végétaux sur un toit. 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.²³



Figure 4 L'immeuble du ministère de Finances. Seine-Saint-Denis.

(Source : <http://www.ecovegetal.fr/>)

✓ Composition de toit végétalisé :²⁴

- **La structure portante**

Elle peut être en béton, acier ou bois et doit supporter le poids de l'installation prévue qui peut doubler voire tripler lorsqu'elle est gorgée d'eau en cas de pluie ou de fonte de

²³ **DJEDJIG, R** « Impacts des enveloppes végétales à l'interface bâtiment microclimat urbain » thèse de doctorat, université de LA Rochelle

²⁴ Article « la végétalisation des bâtiments » Med Bouattour, Fuchs Alain, PARIS 2009

la neige accumulée. De façon générale, il convient d'intégrer la surcharge inhérente au poids de la terre végétale humide et aux piétons dans le calcul des structures portantes. Le toit peut être plat ou incliné (35° au maximum). Il est recommandé de construire des terrasses avec une pente minimale de 1 à 2 %, pour diminuer l'épaisseur de la couche drainante et donc le poids de la structure

- **Un complexe isolant**

L'isolation de la toiture constitue une phase essentielle dans la construction ou la rénovation d'une maison. L'isolation toiture permet de conserver la chaleur qui s'évacue facilement par le toit et de réaliser ainsi des économies énergétiques et financières.

- **Un système d'étanchéité**

Les membranes bitumineuses SBS (éventuellement APP) sont les plus adaptées, mais dans leurs versions "anti-racine" uniquement. Elles offrent une épaisseur plus importante que leurs sœurs synthétiques et présentent moins de problème de recyclage selon leurs promoteurs. L'application en deux couches d'une membrane anti-racine est recommandée. Il est aussi possible de mettre en œuvre des étanchéités en polyoléfine dites TPO ou FPO (cartouche éthylène propylène + polypropylène), le caoutchouc synthétique (EPDM) et le PVC.

- **Un système de filtration**

Pour éviter le colmatage du système de drainage par des particules du sol/substrat, il est éventuellement possible de lui adjoindre un filtre géotextile non-tissé qui retient les fines particules du sol et laisse l'eau s'égoutter. Ce géotextile absorbe aussi l'eau qui la traverse, offrant un milieu humide pour les racines des plantes. Cependant, le non-tissé offre peu de résistance aux racines qui le pénètrent en réduisant son efficacité. On le recouvre donc généralement encore d'un autre géotextile traité anti-racine.

- **Un substrat de croissance avec bande pourtour**

Le substrat doit être léger et résistant à la compaction tout en retenant l'eau. Sa composition est généralement un mélange de terre et/ou de compost végétal de feuilles ou d'écorces mélangé à des agrégats de pierres légères et absorbantes (pierre ponce, matériau expansé tel que des billes d'argile, éventuellement récupération de déchets de tuiles broyées, particules de lave, zéolithe¹⁶, pouzzolane¹⁷...) ayant un diamètre de 3 à 12 mm. Les agrégats représentent un volume variant de 40 à 70 % du substrat de culture en fonction de l'épaisseur de substrat, de l'irrigation (si engazonnement) et du type de culture souhaité. L'épaisseur totale du substrat peut ainsi être réduite à seulement 10 cm d'épaisseur, voire moins pour les rouleaux pré végétalisés de sédums. 15 cm est en zone tempérée l'épaisseur minimale convenant aux plantes très résistantes au gel. 15 cm sont nécessaires aussi pour bénéficier d'une plus grande variété de plantes. Il faut attacher une importance majeure quant au renforcement de la structure d'un immeuble existant car la terre devient très lourde lorsqu'elle est saturée d'eau avec des risques de dommages à l'étanchéité et à stabilité.

Autrement, les capacités du substrat de croissance : de rétention en eau, de perméabilité, de résistance à l'érosion et de densité, conditionnent son bon fonctionnement. Il est conseillé d'aménager une zone stérile (non végétalisée) composée de gravier d'une granulométrie comprise entre 16 et 32 mm autour de la descente d'eau et le long de la bordure du toit. La largeur de la bande pourtour est de 30 à 50 cm.

- **Une couche végétale**

Techniquement, toutes les plantes peuvent pousser sur les toits mais certaines peuvent nécessiter des soins constants pour les préserver d'un soleil permanent, du gel et des grands vents. Dans la plupart des cas, soit en végétalisation semi-intensive ou extensive, la végétation ne sera qu'herbacée ou arbustive. Elle sera choisie en fonction du climat de la région, de l'ensoleillement, de la pente du toit, de l'épaisseur du substrat, etc. De manière générale, on devrait privilégier des plantes vivaces et indigènes très résistantes aux températures extrêmes et qui s'implanteront rapidement pour couvrir les surfaces de sol afin de réduire son assèchement par le soleil et le vent. Les plantes couvre-sols ont aussi l'avantage de laisser peu de place aux herbes sauvages ou indésirables et de réduire l'entretien. Les plantes alpines et rudérales conviennent parfaitement à cet usage.

Selon l'épaisseur et le type de substrat et le climat local, certaines plantes peuvent être proscrites. Ceux qui veulent favoriser la biodiversité chercheront à y favoriser les espèces plus locales, mais adaptées à ces « milieux extrêmes » très secs et chauds au plus fort de l'été et exposés aux chocs thermiques de forte amplitude. Les rouleaux « pré-végétalisés » peuvent être ré-enroulés pour contrôle ou réparation de l'étanchéité. Certaines terrasses sont couvertes de plantes en godets qu'on peut enlever ou déplacer. En cas de toiture en pente, la toile de jute biodégradable est utilisée comme matière anti-érosion.



Figure 5 Les composants de toit végétal

(source : jardin-naturel.fr)

I.3.1.1 Typologie des toitures végétalisées ²⁵

Depuis une dizaine d'année, on assiste à un renouveau des produits d'allègement de la terre végétale qui, combiné avec une plus grande maîtrise de la culture hors sol et avec des avancées de l'horticulture, a permis un essor des terrasses vertes.

Selon l'épaisseur de substrat et le degré d'arrosage souhaité, on pourra faire une plantation de type extensive, semi-extensive ou intensive

²⁵ <https://www.ecohabitation.com>

I.3.1.1.1 Extensive

Il s'agit d'un type de plantation sur substrat de 10 à 15 cm d'épaisseur qu'on ne veut pas nécessairement arroser, sauf éventuellement en cas de sécheresse prolongée. Cette plantation utilise surtout des couvre-sols très rustiques capables de supporter des sécheresses et qui prennent rapidement de l'expansion pour ombrager le sol et le stabiliser par leurs racines.

Son substrat de culture contiendra jusqu'à 70 % d'agrégats poreux, en volume, afin de conserver le plus d'eau possible.

I.3.1.1.2 Intensive

C'est un type de culture dans des bacs pouvant faire jusqu'à 1 ou 2 mètres de profondeur. La culture intensive peut permettre la culture d'arbres tels les arbres fruitiers décoratifs ou nains. De manière générale, il est recommandé de leur poser des haubans pour résister aux grands vents. Ces systèmes devraient toujours être munis d'arrosage automatique pour assurer la survie des arbres. Le volume d'agrégats est souvent réduit à 40 % pour faire place à plus d'éléments nutritifs.

I.3.1.1.3 Semi-intensive

C'est aussi une plantation de faible épaisseur ayant généralement un système d'arrosage automatique goutte-à-goutte se faisant par petits conduits situés sous le substrat de culture entre le géotextile filtrant et le géotextile anti-racine. Voilà pourquoi le géotextile filtrant doit aussi être un géotextile absorbant. Il absorbe les gouttes d'eau pour humidifier les racines sans réduire leur oxygénation. Ce système est aussi très économe en eau, ne créant presque pas d'évaporation. Ce type de culture peut mélanger les couvre-sols, les plantes à fleurs ou à feuillage, les légumes et même de petits arbustes ou des grimpants comme la vigne vierge ou le chèvrefeuille. Le substrat d'une culture semi-extensive est généralement composé d'environ 50 % d'agrégats poreux.

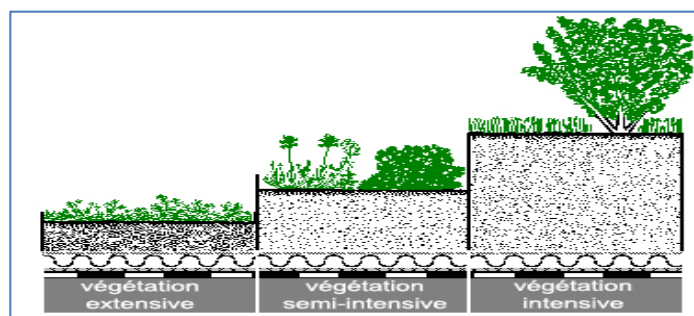


Figure 6 Typologie des toitures végétalisées (Source : agamede.free.fr)

I.3.1.2 Les avantages des toitures végétalisées ²⁶

La toiture végétalisée présente de nombreux avantages, tant sur le plan de l'esthétique et de la durabilité, que dans une perspective de protection de la biodiversité et de l'environnement en milieu urbain.

- Intérêt écologique et sanitaire : La toiture écologique, qui peut par ailleurs s'inscrire dans une démarche de Haute qualité environnementale ou HQE, permet :
 - une amélioration de la qualité de l'air
 - une atténuation des îlots de chaleur urbains.
 - une augmentation de la superficie d'espaces verts
 - une filtration et une épuration biologique des eaux de pluies
 - une régulation des débits hydriques
- Impact technique : Techniquement, la stabilité et l'étanchéité des toitures végétalisées sont supérieures à celles des toitures plates classiques. Cette technique améliore le confort acoustique du bâtiment et offre en outre :
 - une protection sur l'étanchéité
 - Une isolation phonique
- Impact sur le confort été/hiver : Les toitures végétalisées améliorent le confort thermique du bâtiment, humidifient l'air ambiant et offrent :
 - **une protection contre les chocs thermiques**
 - **une inertie thermique** permettant de réaliser d'importantes économies d'énergie.
- Impact paysager :

Judicieusement conçues, les toitures végétalisées redonnent aux villes, notamment industrielles, une indéniable valeur esthétique et valorisent l'habitat en offrant une bonne solution pour que le bâtiment s'intègre dans son environnement.

²⁶ <https://www.picbleu.fr/page/toitures-vegetalisees-habitat-avantages-inconvenients>

I.3.1.3 Les inconvénients des toitures végétalisées²⁷

_ L'ajout d'un substrat de culture et de végétaux nécessite une structure suffisamment forte du toit, une étanchéité parfaite, une pente relativement faible.

_ Contrairement à un toit classique, une toiture végétalisée demande un savoir-faire pour sa conception : il faut donc faire appel à une entreprise qui possède une longue et solide expérience.

_ Intégration et cohabitation plus difficile avec des panneaux photovoltaïques qui doivent être intégrés à la toiture pour pouvoir bénéficier du tarif de rachat de l'électricité le plus avantageux.

_ Le prix pour des toitures denses est en moyenne 4 à 5 fois plus cher qu'un toit normal.

_ Nécessite un accès facile pour l'entretien (indispensable les premières années).

I.3.2 Façades végétalisées²⁸

La végétalisation des façades est un phénomène qui s'est manifesté sur pratiquement tous les continents, Les motivations qui ont mené à leur invention ou à leur instauration sont diverses : Souci esthétique, isolation, protection du bâtiment, etc., à l'image de ces différentes motivations, les formes de végétalisation sont nombreuses et diversifiées, Avec les technologies dont on dispose aujourd'hui et la recherche continue, on peut s'attendre à observer de plus en plus de réalisations novatrices et originales qui permettront de verdir les bâtiments et les constructions urbaines en optimisant leurs bénéfices tout en diminuant leurs contraintes ;il existe deux grandes familles de façades végétalisées :Celles recouvertes de plantes grimpantes et celles que l'on appelle les murs vivants.



Figure 7 Mur végétal, musée de Quai Branly France

(Source : www.parisinfo.com)

²⁷ <https://www.picbleu.fr/page/toitures-vegetalisees-habitat-avantages-inconvenients>

²⁸ Résumé de mémoire présenté par **Sébastien Jacquet**, à l'école de technologie supérieur Montréal « performance énergétique d'une toiture végétale au centre-ville de Montréal

I.3.2.1 Plantes grimpantes

Les façades végétalisées les plus répandues sont les murs recouverts de plantes grimpantes, Elles sont plantées au niveau du sol et rampent sur le mur ou sur un support, Il s'agit du moyen le plus accessible et le moins couteux de verdir une surface verticale Il existe toutefois plusieurs types de plantes grimpantes, classées selon la façon dont elles s'accrochent, soit leur moyen de **préhension**.

I.3.2.2 Murs Vivants

Ce que l'on appelle les murs vivants sont des surfaces constituées avec des végétaux plantés à même le mur,

I.3.2.2.1 Murs modulaires Avec substrat de croissance

Les murs modulaires sont composés de plusieurs compartiments qui contiennent un substrat de croissance , c'est-à-dire de la matière organique qui possède les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes , mais n'a pas la composition et surtout le poids d'un terreau traditionnel , ces murs , qui peuvent prendre différentes formes , ont été inspirés par les mosaïcures , faites de végétaux à l'intérieur d'un cadre solide fixe , ce qui leur confère une forme choisie et en fait des sculptures .

I.3.2.2.2 Murs en mode de croissance hydroponique

Ces murs ne contiennent donc pas de substrat de croissance Les racines des végétaux sont le plus souvent implantées entre deux couches de géotextiles percées de trous, qui laissent sortir le feuillage à l'extérieur, Un important système d'irrigation goutte-à-goutte combiné à la capillarité des géotextiles permet de distribuer un liquide composé de substances nutritives à toute la surface du mur



Murs combinés :

D'autres murs combinent de différentes façons les principes de modularité, la présence ou l'absence de substrat, d'irrigation automatique et de géotextile.

I.3.2.3 Les avantages des murs végétalisés ²⁹

_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 tuiles" des feuilles de certaines grimpanes, 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.

_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 notoire, la plus simple des façades vertes contribuera à changer positivement l'image du bâtiment.**

_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)

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.

²⁹ Résumé de mémoire présenté par **Sébastien Jacquet**, à l'école de technologie supérieur Montréal « performance énergétique d'une toiture végétale au centre-ville de Montréal

I.3.2.4 Les inconvénients des façades végétalisées³⁰

_L'entretien : il y a lieu de tailler régulièrement les plantes, de gérer la chute des feuilles, de nettoyer les gouttières...

_Le prix : les jardins verticaux sont onéreux, jusqu'à 4.000 à 5.000 € par m².

_L'humidité : il y a lieu de vérifier que les plantes n'humidifient pas trop les murs.

_La lumière : il faut maîtriser les plantes afin qu'elles n'entraient pas la luminosité en se développant devant les fenêtres, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur.

_Les nuisibles : comme tout jardin, le mur végétal n'échappe pas aux attaques des indésirables, comme par exemple l'otiorhynque, un petit coléoptère d'environ 1 cm. Celui-ci grignote le feuillage en commençant par le pourtour, et se dirige ensuite vers le centre. Quant aux larves d'otiorhynques, elles causent des dégâts encore plus importants. En effet, elles se nourrissent du système racinaire et du collet de la plante. Les invasions provoquent un jaunissement et un flétrissement des feuilles, comme si elles étaient déshydratées. Si le problème n'est pas traité rapidement, les plantes pourront tomber au pied du mur.

I.4 L'influence de l'environnement physique des bâtiments éducatifs sur les capacités d'apprendre

Un environnement sain et confortable est essentiel pour tout type de bâtiments mais, en particulier, les bâtiments éducatifs, une catégorie des bâtiments dans laquelle un niveau élevé du confort doit être fourni pour assurer l'attention et la concentration des étudiants et améliorer la performance d'apprendre (Corgnati, 2007).³¹

La capacité d'étude et le rendement des étudiants, telle que la capacité de se concentrer pendant les cours, dépendent non seulement de différentes caractéristiques, telles que la motivation, les conditions psychologiques, l'intelligence, etc. mais également de

³⁰ <http://magazine.thomas-piron.eu/votre-habitation/ces-jardins-qui-grimpent-aux-murs/>

³¹ CORGNATI. S-P, FILIPPI. M, VIAZZO. S, (2007), Perception of the thermal environment in high school and university classrooms : Subjective preferences and thermal comfort, Building and Environment N°42.

plusieurs autres facteurs externes qui affectent non seulement l'étudiant, mais l'environnement global du bâtiment éducatif et de la salle de classe (Abdelatia, 2010).³²

Les conditions thermiques dans les salles de classe doivent être considérées soigneusement principalement en raison de la densité élevée d'occupation et des grandes surfaces vitrées utilisées pour un but fonctionnel (éclairage et aération), et en raison des influences négatives qu'un environnement thermique insuffisant a sur la performance d'apprendre (Wong, 2003 ; Boucheham, 2010 ; Firth, 2010)³³. La température ambiante dans une salle de classe a des effets sur la performance et le rendement des étudiants dans différentes tâches (lecture, calcul et mémorisation), ainsi que sur leurs comportements.

De plus, l'humidité relative est considérée comme facteur important, elle est signalée comme étant le plus important déterminant de la croissance des acariens et de la poussière (Korsgaard, 1982 cité par Udin, 2008). King et le Marans (1979) ont conclu qu'avec une température et une humidité accrues, la performance d'accomplissement des tâches diminuait, ainsi que la durée d'attention. Des conditions pareilles défavorisent la concentration et augmentent aussi la possibilité du stress thermique. Ce dernier est défini, par Aynsley (1996), comme « la combinaison de la température de l'air, le rayonnement, le taux d'humidité de l'air, le mouvement de l'air, l'habillement et de comportement qui induit une incapacité physiologique de l'organisme pour maintenir sa température dans des limites qui permettent la performance physiologique normale » (Prescott, 2001). Ce stress thermique peut avoir des impacts négatifs sur les capacités d'apprendre des étudiants. Harner (1974) a conclu que la meilleure plage de températures pour la lecture et les mathématiques était de 20-23 °C et que l'habilité pour étudier ces sujets est réduite par des températures au-dessus de 23 °C. D'une autre part Walden (2009) a indiqué sur la base d'autres recherches que le maintien d'une température stable sans changements est tout aussi défavorable pour l'organisme humain et provoque de la fatigue (Montenegro Iturra, 2011). En outre, des recherches

³² ABDELATIA. B, MARENNE. C, SEMIDOR. C, (2010), Daylighting Strategy for Sustainable Schools : Case Study of Prototype Classrooms in Libya, Journal of Sustainable Development, Vol. 3, N° 3.

³³ WONG. N-H, KHOO. S-S, (2003), Thermal comfort in classrooms in the tropics, Energy and Buildings N°35.

ont montré que le confort thermique se présente comme un facteur prédominant dans la réduction de l'absentéisme.³⁴

I.5 La végétalisation et le confort³⁵

En plus d'une réflexion sur la couleur du bâtiment de ses matériaux et donc de son albédo, pour favoriser un meilleur confort thermique du bâti, il est important de favoriser une bonne isolation. Bien qu'elles soient des paramètres associés aux climats froids, l'isolation et l'étanchéité sont aussi incontournables pour assurer le contrôle de la fraîcheur à l'intérieur du bâtiment.

Sur un bâtiment existant, la restructuration complète du système d'isolation est souvent difficile et coûteuse. Là encore, un aménagement paysager de l'enveloppe du bâtiment peut apporter une solution alternative d'isolation. En effet, le simple fait de couvrir des surfaces des bâtiments et d'y créer de l'ombre est en soi une façon de le refroidir en été. De plus, l'air contenu dans la masse végétale agit comme isolant et la vapeur d'eau émise par évapotranspiration des feuillages permet de rafraîchir l'air ambiant. Autre avantage, en hiver, le tiers de la demande en chauffage est attribué au vent diminuant l'efficacité énergétique d'un bâtiment, hors, une couche de végétaux agit comme un tampon qui l'empêche de circuler directement le long des parois. On retrouve ces principes d'isolations thermiques dans la valorisation de toits verts et de façades végétales. En plus d'apporter une réponse technique à l'isolation d'un bâtiment ancien, ces aménagements améliorent la qualité visuelle de l'espace urbain. Toutefois on privilégiera, pour une plus grande efficacité, des toits verts pour isoler des bâtiments d'un seul étage, et des façades végétales pour des bâtiments à plusieurs étages.

³⁴ LABRECHE, S. « Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d'enseignement supérieur en régions arides » thèse de magistère université de Biskra.

³⁵ Résumé de mémoire présenté par Sébastien Jacquet, à l'école de technologie supérieur Montréal « performance énergétique d'une toiture végétale au centre-ville de Montréal ».

Conclusion

Les études montrent que Les conditions thermiques dans les salles de classe doivent être considérées soigneusement puisque un environnement thermique insatisfaisant a des influences négatives sur la performance d'apprendre. Ainsi Le confort hygrothermique est l'une des principales caractéristiques qui contribuent à la création d'un environnement propice à l'éducation.

Indépendamment des avantages esthétiques significatifs, il y a lieu de retenir les nombreux avantages que peut avoir la végétation dans le projet architectural. En effet, les plantes régulent les excès climatiques grâce à plusieurs facteurs : l'ombre, l'évapotranspiration, l'humidification, etc.

Pour cela, nous allons évoquer dans le chapitre qui suit l'impact des plantes sur le confort des bâtiments en comparant les résultats des différentes expériences menées à travers le monde.

CHAPITRE II :

IMPACT DES PLANTES SUR LE
CONFORT DES BATIMENTS

Introduction

D'après la littérature scientifique, les chiffres issus indiquent que le rafraîchissement de l'air par les plantes grimpantes (telles que la vigne ou le lierre) atténue de 4 à 6°C les pics de température estivaux au niveau des façades permettant le rafraîchissement de l'intérieur du bâtiment. Ainsi L'installation d'une toiture végétalisée à la place d'un toit classique ou d'un revêtement noir fait économiser 40 à 110 % de l'énergie consacrée au refroidissement ou au chauffage des bâtiments.

Par conséquent, Cette partie du mémoire constitue un état de l'art sur les performances thermiques de la végétation. Il s'agit d'une synthèse bibliographique se basant sur les résultats des différentes études réalisées à travers le monde ainsi que les méthodologies suivies pour démontrer l'effet des plantes sur le confort des bâtiments. En effet, ces études ont été effectuées par des techniques modelées sur ordinateur et/ou des expériences menées sur terrain. Ce chapitre constitue ainsi une base de données qui, par la suite, va nous aider à élaborer la partie pratique de cette étude.

II.1 Performances de refroidissement des plantes grimpantes³⁶

L'effet des plantes grimpantes sur le confort hygrothermique des bâtiments était étudié par un certain nombre de chercheurs à travers le monde.

II.1.1 Effets thermiques des murs couverts de lierre

II.1.1.1 Expérience à Hong Kong

Les écrans de lierre sur les bâtiments, comme dispositif architectural agréable, est répandu dans l'ensemble de la Chine, particulièrement dans les régions subtropicales (ZAIYI.L et JINYEU.T)³⁷

³⁶BENHALILOU, K « IMPACT DE LA VEGETATION GRIMPANTE SUR LE CONFORT HYGROTHERMIQUE ESTIVAL DU BATIMENT » mémoire de magistère 2008, université de Constantine.

³⁷ ZAIYI.L et JINYEU.T : *"Impacts of Greenbelts on the Thermal Environment of Residential Communities"*.The First Conference on Architectural Design and Technology for Sub-Tropical Climates., Chine, 1998.



Figure 8 Model du mur couvert de lierre

(Source : L. ZAIYI et T. JINYEU 2000)

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. (ZAIYI.L et NIU. J.L)³⁸

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 (fig 8) :

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.

³⁸ ZAIYI. L et NIU. J.L: "Study on thermal function of ivy-covered walls" Dept of building services engineering, Hong Kong, 2000

- 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 (**ZAIYI. L et NIU.J.L**)³⁹(fig 9).

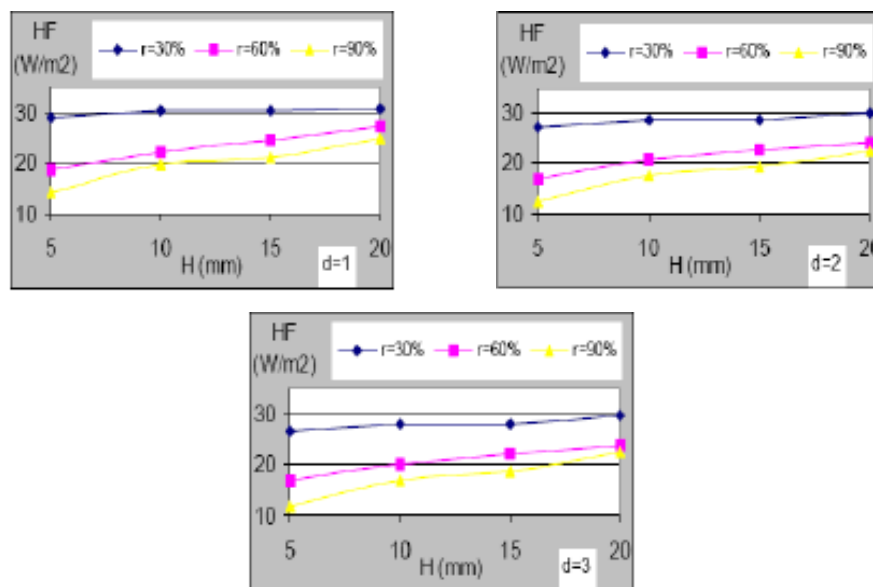


Figure 9 Rapport entre HF et H

(Source : L. ZAIYI et T. JINYEU 2000)

³⁹ ZAIYI. L et NIU. J.L: "Study on thermal function of ivy-covered walls" Dept of building services engineering, Hong Kong, 2000

- Le rapport de couverture (r) a un effet significatif sur la fonction thermique du mur couvert de lierre (fig 10). Cela peut être expliqué par l'augmentation de (r) qui a pour conséquence qu'une plus grande partie de surface de mur qui peut tirer bénéfice de l'ombre du lierre.

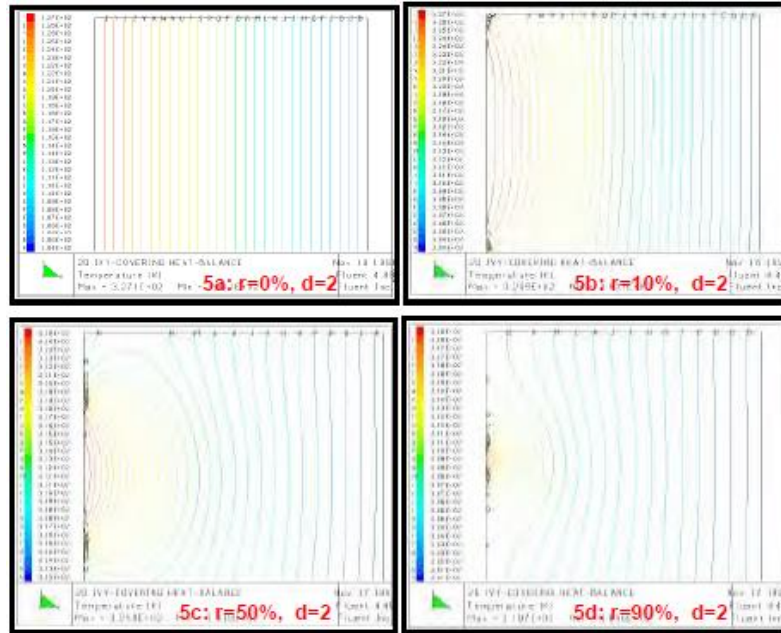


Figure 10 Modèle de température dans un mur couvert de lierre

(Source : L. ZAIYI et T. JINYEU 2000)

Pour un mur en brique, quand (r) est moins de 30%, HF est très proche à la situation d'un mur nu c'est-à-dire que plus le rapport de couverture est élevé, plus grande sera sa performance (fig 11). Par conséquent, comparé à ce dernier, un mur couvert à 100% a pu réduire les gains solaires jusqu'à 37%.

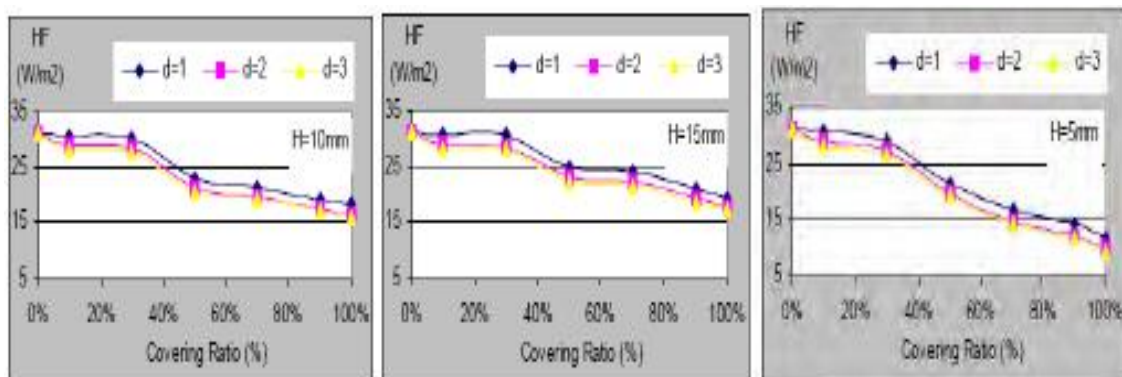


Figure 11 Relation entre HF et rapport de couverture (r)

(Source : L. ZAIYI et T. JINYEU 2000)

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 (ZAIYI. L et NIU. J.L)⁴⁰.

II.1.1.2 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 (DI.H.F et WANG.D.N)** ⁴¹ Qui ont choisi la bibliothèque de Tsinghua à Pékin pour effectuer leur expérience (fig 12) : 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 12 Vue Ouest de la bibliothèque d'université de Tsinghua

(Source : DI et WANG 1999)

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.

⁴⁰ ZAIYI. L et NIU. J.L: "Study on thermal function of ivy-covered walls" Dept of building services engineering, Hong Kong, 2000

⁴¹ DI.H.F et WANG.D.N: "Cooling effect of ivy on a wall" Experimental Heat Transfer. Vol. 12, no.3, pp235-345. Tsinghua University, Chine, 1999

II.1.1.2.1 Les outils de mesure

II.1.1.2.1.1 Thermocouples :

Instrument permettant de mesurer des températures, constitué de deux conducteurs filiformes de nature différente (de deux métaux différents), dont les extrémités sont reliées entre elles deux à deux par des soudures. Une soudure est placée sur le point dont on veut mesurer la température, l'autre étant maintenue à une température fixe. La différence de température entre les deux soudures engendre une force électromotrice qui peut être mesurée.⁴²

II.1.1.2.2 Anémomètre :

L'anémomètre est un instrument qui permet de mesurer la vitesse et la pression du vent. Associé à une girouette, il peut également apporter des précisions concernant sa direction.⁴³

II.1.1.2.3 Pyranomètre

Un pyranomètre est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie. Il permet la mesure de la puissance du rayonnement solaire total en watts par mètre carré.⁴⁴

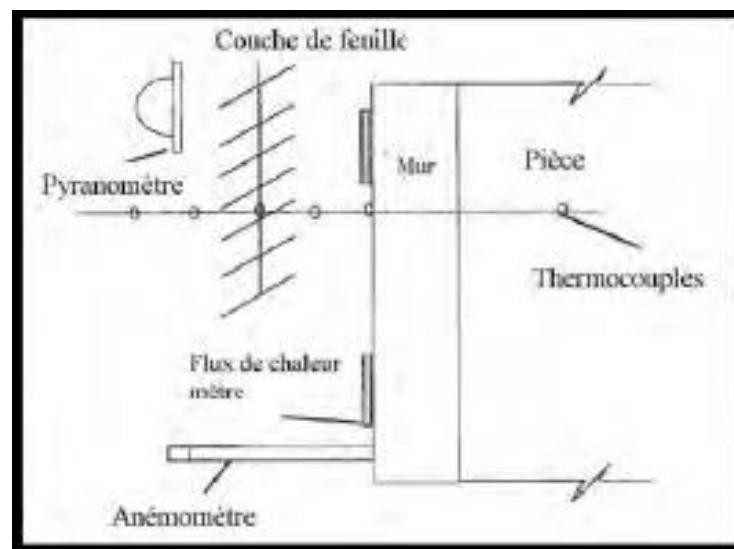


Figure 13 Installation expérimentale

(Source : DI et WANG 1999 et réadapté par auteur)

⁴² <https://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/>

⁴³ <https://www.futura-sciences.com/>

⁴⁴ <https://educalingo.com/fr/dic-fr/>

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 (fig 13).

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 (**DI.H.F** et **WANG.D.N**)⁴⁵ (fig 7). 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.

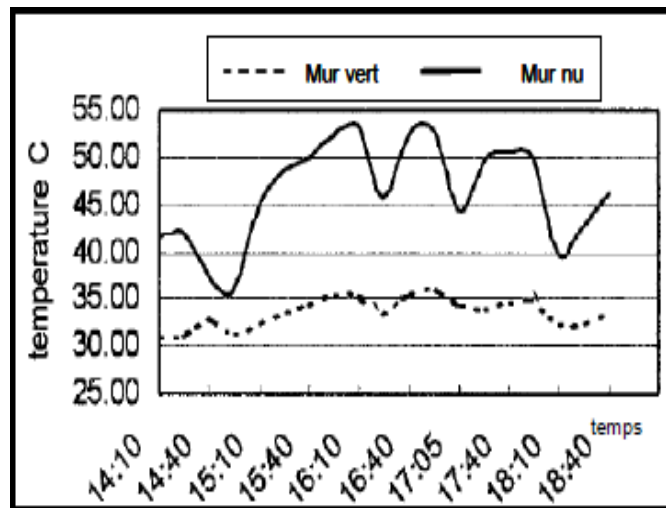


Figure 14 Variation des températures pendant le jour

(Source : DI et WANG 1999 et réadapté par auteur)

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

⁴⁵ **DI.H.F** et **WANG.D.N**: "Cooling effect of ivy on a wall" Experimental Heat Transfer. Vol. 12, no.3, pp235-345. Tsinghua University, Chine, 1999.

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 (fig 14).

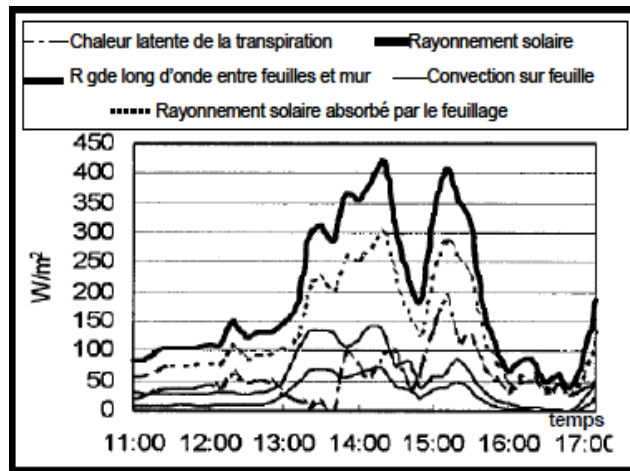


Figure 15 transfert d'énergie à la couche de feuille le 24-07-1996

(source : DI et WANG, 1999)

II.1.2 Effets thermiques d'une variété de vignes sur les températures des murs

Etudier le confort thermique implique de prendre en considération ses divers aspects physiques, physiologiques et psychologiques.

II.1.2.1 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 denses) ont été placées sur une armature devant un mur en brique orienté Sud (fig 16). 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 16 Vigne de Campsis sur un mur sud de Brique

(Source : SANDIFE et GIVONI 2002)

Notons par ailleurs, que la couleur de la brique exposée et celle des panneaux expérimentaux foncés présentaient de fortes ressemblances. La figure (17) 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, enregistrait 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 en fonction de la densité du feuillage.

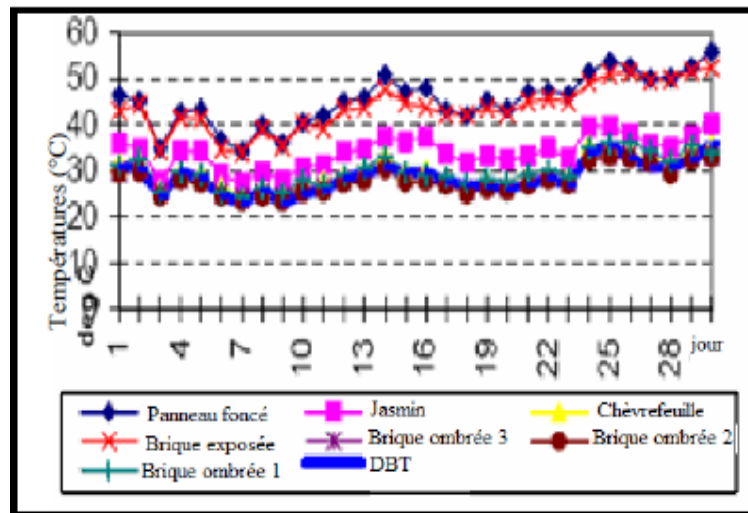


Figure 17 Températures maximale journalières en septembre 2001

(Source : SANDIFER et GIVONI 2002 et réadapté par auteur)

La différence entre la température des surfaces exposées et ombragées était approximativement 20°C pour les deux matériaux (SANDIFER.S, GIVONI.B).⁴⁶ 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.

⁴⁶ SANDIFER.S, GIVONI.B: "Thermal effects of vines on wall temperatures- comparing laboratory and field collected data" UCLA -University of California at Los Angeles, 2002.

En outre, **Cantuaria**⁴⁷ en 2000 a obtenu une différence allant jusqu'à **10°C** entre un mur couvert de vigne vierge ordinaire et un mur nu.

II.1.3 Effets thermiques des vignes sur l'environnement thermique interne d'une façade vitrée

II.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 (fig 18). 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.⁴⁸



Figure 18 Le Bioshader

(Source : Lam et al, 2004)

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.

⁴⁷ **CANTUARIA.G** : "A comparative study of the thermal performance of vegetation on building surfaces". PLEA: Architecture, City, Environment, Cambridge, UK, pp312-313. 2000.

⁴⁸ **LAM.M et al** : « Résumé d'une étude de cas- Végétation sur la façade des constructions : -Bioshader- »-Centre for Sustainability of the Built Environment university of Brighton, 2004. www.durabuild.org

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 (LAM. M et al)⁴⁹. 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) (fig 19), 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 (MEIER.A. K)⁵⁰.

En outre, les vignes ou les lierres épais peuvent augmenter l'humidité de l'air de 10 à 20% (QIAN.Z.M)⁵¹.

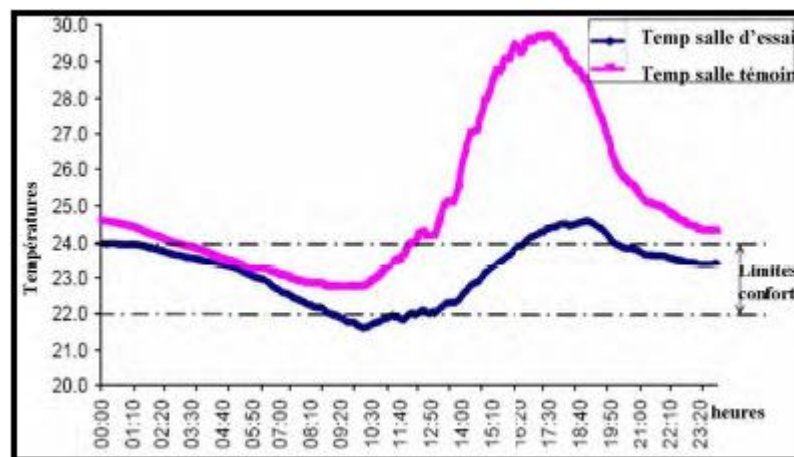


Figure 19 Ecart de température entre la salle d'essai et la salle témoin

(Source : Lam et al., 2004 et réadapté par auteur)

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).

⁴⁹ LAM. M et al: "Experimental modelling of deciduous climbing plants as shading devices" Institute for tropical architecture, 2006

⁵⁰ MEIER.A. K : "Strategic Landscaping and Air Conditioning Savings: A Literature Review", Energy and Buildings, vol. 15-16, 1990-1991. pp. 479- 486

⁵¹ QIAN.Z.M : "An Investigation to the Cooling and Moisturizing Effects of Creepers on the Surrounding Area", Researches on the Green Effects, Chinese Environmental Science Press, Bekin, 1995.

II.2 Efficacité énergétique et performance thermique d'une toiture végétale⁵²

En règle générale, les économies d'énergie permises par les toitures jardins dépendent du climat, du type et de l'efficacité du système de chauffage ou de refroidissement utilisé dans le bâtiment et des sources d'énergie, lesquelles sont spécifiques aux sites. Ainsi, la température de la toiture influence la température intérieure d'un logement et donc les besoins de climatisation. Une toiture couverte de végétaux réduit aussi sensiblement les pertes de chaleur en hiver, mais cet impact est moindre que celui de la climatisation.

Pour étudier la performance des toitures végétalisées, les chercheurs de l'institut de recherche canadien (IRC) ont aménagé et comparé un système de toiture-jardin et un système de toiture sans plantation sur le campus d'Ottawa. Une toiture de type industriel, de faible inclinaison, a été divisée en deux parties égales. La première moitié est une toiture jardin à végétation extensive reposant sur substrat léger de 150 mm de gazon ; la seconde, une toiture en bitume (fig 20). Des mesures d'écoulement des eaux pluviales, de température, du flux de chaleur, la réflexion solaire, la teneur en eau du sol ont été effectuées.



Figure 20 séparation de deux toit : le toit vert (à gauche) et le toit de référence (à droite)

(source : Liu . K . Y et Baskaran A. 2005)

Les résultats ont indiqué que la toiture nue a subi des températures plus élevées que celle de la toiture jardin, notamment pendant les mois chauds. Pendant un jour type d'été, la membrane exposée de la toiture nue a atteint 70°C l'après-midi, tandis que celle de la toiture jardin est restée à environ 25°C (fig 21). Pendant l'hiver, les profils de température des deux toitures étaient identiques, en raison de l'effet isolant de la neige

⁵² BENHALILOU, K « IMPACT DE LA VEGETATION GRIMPANTE SUR LE CONFORT HYGROTHERMIQUE ESTIVAL DU BATIMENT » mémoire de magistère 2008, université de Constantine.

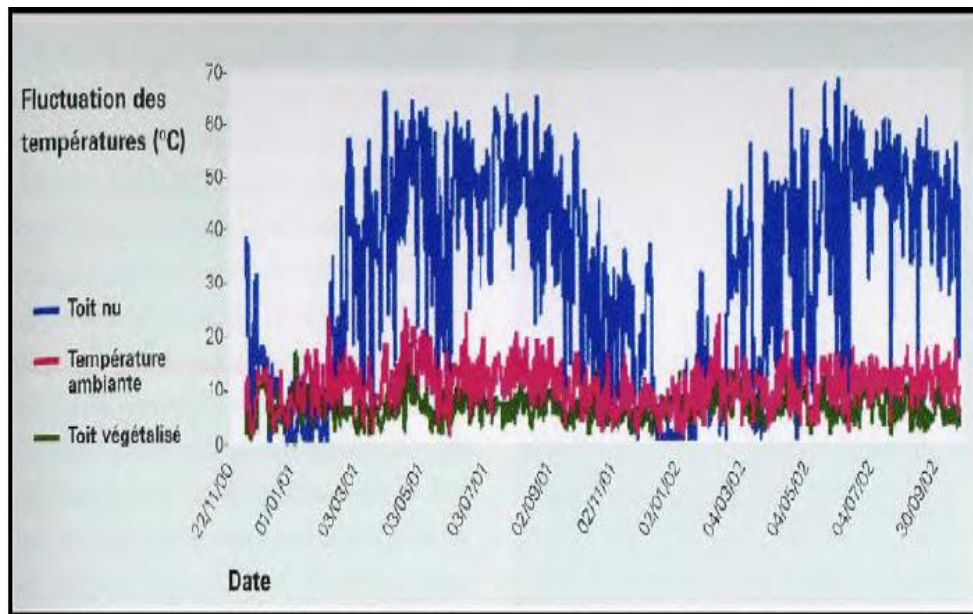


Figure 21 Fluctuations journalières des températures sur un toit

(Source : Liu. K.Y et Baskaran.A , 2005)

De plus, la toiture jardin a permis de mieux contrôler les gains de chaleur au printemps et en été qu'elle n'a permis de réduire les pertes de chaleur en automne et en hiver. La raison revient aux différents mécanismes thermiques en jeu : ombrage, isolation, évapotranspiration et masse thermique. Pendant la période d'étude, la toiture jardin a réduit les gains de chaleur de 95% et les pertes de chaleur de 26%, avec une réduction totale du flux de chaleur de 47% par rapport à la toiture nue. Ce qui a conduit à une réduction de plus de 75% du besoin énergétique en climatisation. (LIU. K.Y et BASKARAN.A)⁵³.

Toujours à Ottawa, Bass (2001)⁵⁴, a testé le même modèle de toit (un toit vert d'un côté et un toit conventionnel de l'autre côté comme toit de référence) (fig 22). Dans un but de comparer la performance thermique des deux systèmes de toits, une simulation basée sur le logiciel « DAINE VISUAL » a été alors développée en plus des mesures in situ de température, d'écoulement de chaleur, de réflectivité solaire, d'humidité du sol et d'écoulement de précipitation.

⁵³ LIU. K.Y et BASKARAN.A : « Des toitures jardins pour une meilleure durabilité des enveloppes des bâtiments » solution constructive n° 65, sept. 2005.

⁵⁴ BASS.B, BASKARAN.B: "Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas", Canada, 2001.

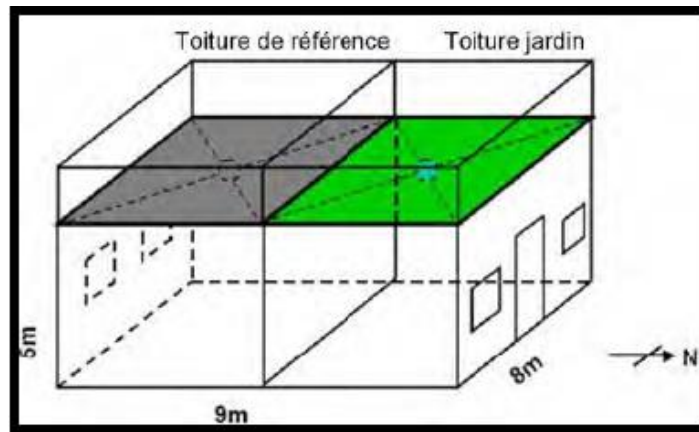


Figure 22 Modèle des deux toitures simulées

(Source : BASS.B, BASKARAN.B, 2001)

Les résultats de cette expérience ont révélé que la membrane de la toiture jardin a subi des variations de température sensiblement plus faibles pendant les mois chauds que celle de la toiture conventionnelle. En été, la variation de température moyenne quotidienne de la toiture jardin était de 6,5°C, contre 46°C, pour la toiture conventionnelle. Par ailleurs, cette variation de température est restée constamment plus faible que la variation de température moyenne quotidienne de l’air ambiant (fig 23).

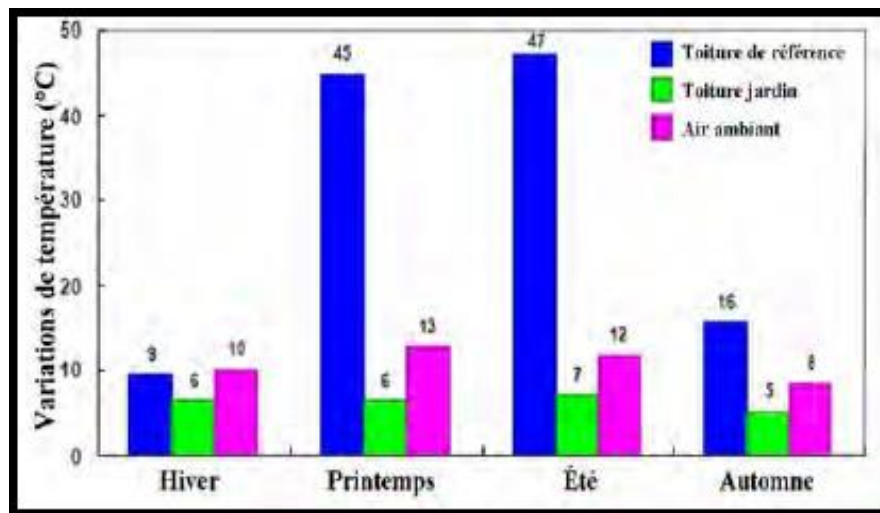


Figure 23 Variations de températures journalières du toit de référence, toit vert et l’air ambiant, par saison (Nov 2000 à sept 2001)

(Source : BASS.B, BASKARAN.B, 2001)

Aussi, à l’aide du même logiciel « DAINE », des simulations sur l’impact du toit vert sur les températures intérieures ont indiqué que la consommation d’électricité pour la climatisation pourrait être réduite entre 6 à 18% en Californie

Selon une étude du ministère canadien de l’environnement, la présence de toitures vertes sur seulement 6% des toits des villes canadiennes ferait descendre la température

d'environ 1 à 2°C, ce qui ferait ainsi économiser près de 5% des coûts de climatisation dans tous les immeubles climatisés des villes.

En outre, les toits verts pourraient améliorer la performance thermique d'un bâtiment en bloquant le rayonnement solaire et en réduisant le flux de chaleur. Cette résistance thermique supplémentaire mène à plus de 37% d'économies d'énergie, par année pour un bâtiment non-isolé (NIACHOU. A)⁵⁵

Hoyano a examiné une plantation de gazon sur toit où des températures surfaciques de modèles de toit gazonné (*Zoysia* sauvage) ont été comparées à la température d'une couverture de toit nu. L'étude a été entreprise pendant un an, afin d'observer l'effet du gazon en été et en hiver. En été, les températures surfaciques moyennes des deux types de toit, étaient au-dessus de la température moyenne de l'air ambiant. La température maximale du sol nu était sensiblement plus haute que celle du gazon. Avec un rayonnement d'environ 700 kcal/m²h, la température surfacique des feuilles vertes était environ 8°C au-dessus de la température de l'air.⁵⁶

De plus, une membrane de toiture exposée au soleil peut atteindre une température de surface de 65°C alors que la même membrane recouverte de végétaux demeure à une température de 15 à 20°C.

Wong, de son côté, a exploré un toit vert en mesurant la température et le flux de chaleur avant et après couverture de végétation. Il a été observé une différence de température maximale de 18°C. De plus, le flux de chaleur était considérablement réduit par l'installation du toit végétalisé (fig 24). D'ailleurs, plus de 60% de gain de chaleur a été arrêté par ce système. Cependant, quand le substrat est très sec, sa température peut excéder la température de surface du toit exposé.⁵⁷

⁵⁵ NIACHOU. A : « *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance* ». Energy and Buildings, vol 33, 2001. pp.719-729.

⁵⁶ In GIVONI.B: « *Climate considerations in building and urban design* » Van Nostrand Reinhold, New-York, 1998. p316-317.

⁵⁷ WONG. N.H, TAN. P.Y et CHEN. Y : « *Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate* » Building and Environment, Volume 42, Issue 1, 2006. p 25-54

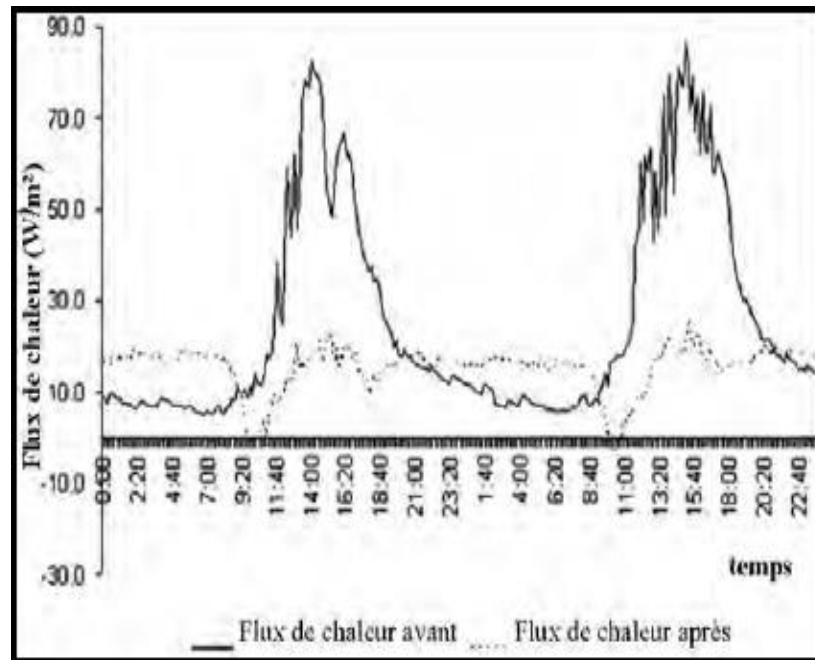


Figure 24 Comparaison du flux de chaleur avant et après végétalisation du toit

(Source : Wong, 2006)

Les mesures de température sur un toit vert à l'institut de Philadelphie ont prouvé que tandis que le toit nu atteignait 32°C, la température sous les plantations du toit vert était moins élevée de 16°C. Un toit vert, particulièrement humide, a la capacité de stocker de grandes quantités de chaleur. Il agira en tant qu'amortisseur entre les fluctuations des températures externes et l'environnement interne, réduisant considérablement la variation quotidienne des températures et réduisant les conditions maximales de chauffage et de refroidissement. Un jour chaud et ensoleillé, l'évapotranspiration d'un toit végétalisé peut réduire la température du toit. Ceci réduirait la quantité d'écoulement de chaleur dans le bâtiment par le toit et la température d'air externe qui est échangé avec de l'air du bâtiment.

Ces températures inférieures de toit pourraient réduire l'énergie utilisée pour la climatisation de 10% (PECK.S, CALLAGHAN.C)⁵⁸

II.3 Méthodes de calculs

Les méthodes utilisées dans les expériences récapitulées ci-dessus pour étudier l'effet de la végétation sur l'ambiance thermique des bâtiments sont diverses ; elles se résument comme suit :

⁵⁸ PECK.S, CALLAGHAN.C : « Greenbacks from Green Roofs: forging a new industry in Canada ». Prepared for Canada Mortgage and Housing Corporation. Canada. 1999

II.3.1 Méthode in situ

L'expérience est réalisée dans l'endroit même où le phénomène est examiné en utilisant des instruments de mesures (Thermocouples, Anémomètre et un Pyranomètre) à plusieurs points de l'enveloppe en des temps différents pendant la saison hivernale et estivale.

II.3.2 Méthode numérique ou informatisée

Cette méthode a été alors développée par une simulation sur l'impact du toit vert sur les températures intérieures à l'aide d'un logiciel de visualisation « DAINE VISUAL ».

II.4 La méthode appliquée dans le cas d'étude

En raison du coût et des durées expérimentales, ainsi vu le manque d'instruments de mesure in situ, la simulation est la plus efficace et pratique pour étudier l'impact de l'enveloppe végétalisée dans l'amélioration du confort hygrothermique à l'intérieur des classes de département d'architecture à l'université de Guelma.

II.4.1 La simulation

La simulation informatique, ou simulation numérique, est une série de calculs effectués sur un ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle aboutit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'il s'était réellement déroulé. Cette représentation peut être une série de données, une image ou même un film vidéo.

Un simulateur peut réagir à des modifications de paramètres et modifier ses résultats en conséquence.

II.4.1.1 Présentation du logiciel « ECOTECT »

Logiciel de simulation complet qui associe un modèleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. ECOTECT est un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. ECOTECT a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design. Le logiciel répond à ceci en fournissant la rétroaction visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception en attendant que les informations plus détaillées soient disponibles. Ses sorties étendues rendent également la validation finale de conception beaucoup plus simple en se connectant par interface à Radiance, EnergyPlus et à beaucoup d'autres outils plus spécialisés.⁵⁹

⁵⁹ <http://logiciels.i3er.org/ecotect.htm>

Conclusion

Bien que les méthodes d'expérimentation varient, presque tous les résultats ont confirmé que l'usage de la végétation autour des bâtiments procure des ambiances confortables pour les occupants.

La végétalisation des bâtiments a non seulement des effets psychologiques et esthétiques ; mais améliore également les conditions microclimatiques défavorables.

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

Comme il a été démontré dans les études expérimentales récapitulées ci-dessus, les plantes grimpantes peuvent en réalité abaisser la température de l'air, les températures surfaciques près des parois du bâtiment ainsi que la température d'intérieur et la charge de refroidissement durant les saisons chaudes grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration. En hiver, elles peuvent aussi être utilisées efficacement comme protection contre le vent, ce qui contribue à la réduction des charges du chauffage.

Or les recherches traitant l'impact des plantes sur le confort intérieur des bâtiments à Guelma sont rares voire inexistantes. Alors, c'est ce que nous allons essayer d'aborder dans la partie pratique de notre recherche, en évaluant le confort hygrothermique à l'intérieur des salles de classe de notre département sous l'effet de l'enveloppe végétal dans un tel climat.

C HAPITRE III :

ANALYSE DU CAS D'ETUDE

Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons souligné la convergence des différentes expériences sur les critères et méthodes d'évaluation de l'impact de l'enveloppe sur le confort hygrothermique des bâtiments tels que la comparaison entre l'enveloppe végétalisée et l'enveloppe nue. Afin de concrétiser l'objectif de cette recherche qui consiste à évaluer et mesurer l'impact de l'enveloppe végétale dans les bâtiments éducatifs sur le confort hygrothermique des étudiants sous le climat de Guelma. Les développements qui suivent abordent à la fois l'identification du climat de Guelma, le descriptif et la présentation du cas d'étude ainsi que la méthodologie de travail employée. Cette investigation vise l'évaluation d'impact de l'enveloppe végétalisée sur le confort hygrothermique des équipements éducatifs et par conséquent sur le confort des étudiants et la démonstration qu'un simple écran végétal placé à proximité d'une façade d'un bâtiment peut réguler considérablement le confort intérieur.

III. Étude climatique ⁶⁰

III.1.1 Présentation de la ville

Guelma, ville du nord-est algérien, se situe entre 36° 28' de latitude nord et 7° 25' de longitude est. Elle occupe une position médiane entre le nord, les hauts plateaux et le sud du pays. Limitrophe de six wilaya : Annaba au nord, El Taref au nord-est, Souk Ahras à l'est, Oum El Bouaghie au sud, Constantine à l'ouest et Skikda au nord-ouest.



Figure 25 carte délimitation de la ville de Guelma - source : auteur

⁶⁰ MEDJELEKH .D . «Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment » mémoire de magistère 2006 . Université Mentouri Constantine

III.1.1.1 Climat de Guelma

Le climat de Guelma est celui de l'arrière littoral montagne (Zone B). Déterminé par des hivers plus froids et plus longs et des étés chauds et moins humides que ceux du littoral.

L'interprétation des données météorologiques de Guelma sur une période de dix ans, et l'établissement de son diagramme solaire s'avèrent utiles pour mieux caractériser son climat. A rappeler que pour définir les climats on devra s'appuyer constamment sur les données moyennes et extrêmes. D'où peuvent se mesurer les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, et amplitude des extrêmes absolues de températures quotidiennes (entre le maximum diurne et minimum nocturne) (ESTIENNE. Pierre et GODARD. Alain). ⁶¹L'interprétation des données météorologiques de Guelma, période 95-2004 fait ressortir que la température annuelle moyenne est de 17.9°C avec 27.7°C en août (le mois le plus chaud) et 10°C en janvier (le mois le plus froid). Les extrêmes absolus enregistrés varient entre -3.5°C au mois de janvier à 47°C au mois de juillet. Les amplitudes mensuelles ne sont pas très contrastées comparées aux amplitudes annuelles qui dépassent les 31.6°C. Ce qui distingue la période chaude de la période froide. L'amplitude diurne variée entre 15.4 et 20.4°C pendant les saisons fraîches. La moyenne mensuelle de l'humidité relative dépasse les 68.3 % avec une moyenne maximale de 94.2% et une moyenne minimale de 29.1%. Les valeurs des humidités moyennes maximales laissent penser à un climat humide ou sub-humide. D'après le calcul d'indice d'aridité de Martonne : $I_m = P / T_m + 10$ **$I_m = 24.70$, où $20 < I_m < 30$ Donc le climat de Guelma est un climat sub-humide.** L'insolation totale mensuelle est considérable. D'une moyenne de 243.3 h avec un minimum 160.9 h enregistré en janvier et un maximum 353 h enregistré en juillet. Les vents prédominants à Guelma sont d'une vitesse moyenne qui varié de 1.46 à 2m/s pour une moyenne annuelle de 1.80m/s. Mais il est enregistré 36.2 j/an de Sirocco. Les vents à Guelma sont de diverses directions. Ceux de nord-ouest avec une moyenne de 23.77%, il atteint leur maximum au mois de décembre et leur minimum au mois de juillet avec 10.36%. A l'inverse les vents nord-est sont plus fréquents au mois de juillet, avec un maximum de fréquences entre les mois d'octobre et février. Enfin le sirocco se manifeste au nord plus qu'au sud de la région, surtout en juillet de 6 à 7 jours en moyenne. C'est un vent chaud et desséchant très néfaste pour les cultures.

⁶¹ (ESTIENNE. Pierre et GODARD. Alain, *Climatologie*, Paris : Edition Armand Colin, 1970, p11).

L'évaporation mensuelle atteint un maximum de 186.8mm au mois de juillet et un minimum de 49.6mm en février. L'évapotranspiration potentielle (ETP) calculée est de l'ordre de 994 mm (ZEDDOURI. Aziz.) ⁶²

La répartition des précipitations à Guelma est marquée par une durée de sécheresse durant l'été, avec un minimum de 2.6mm enregistré en juillet. Le reste des saisons est marqué par des précipitations considérables. Le total annuel est de 688.3 mm avec un maximum de 137.7 mm enregistré en décembre. Près de 57% de la pluviométrie est enregistrée pendant la saison humide.

Latitude : 36° 28' N/ Longitude : 7° 25' E/ Altitude : 500 m

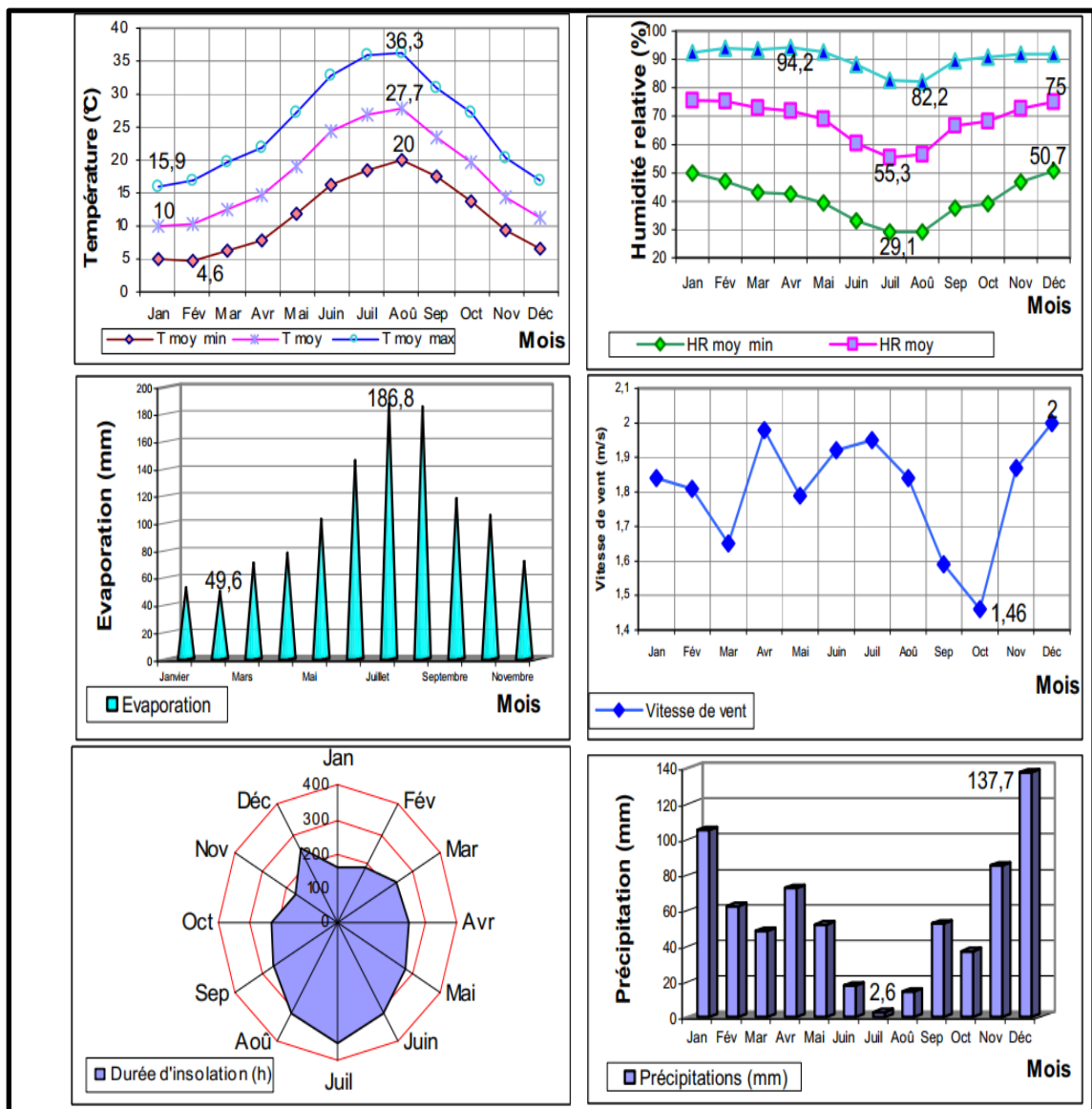


Figure 26 interprétation des données météorologiques de Guelma : période 95-2004(source : météo 2004)

⁶² (ZEDDOURI. Aziz, Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrochimique de la plaine alluviale de Guelma (Essai de modélisation), Thèse de magister en hydrogéologie, Université Badji Mokhtar, Annaba 2003, p31-37.)

Température	Tmoy max = 36,3° C en Aout
	Tmoy min = 4.6 C° en février
Humidité	HR moy max = 94.2% en avril
	HR moy min = 29.1% en juillet
Insolation	Insola max : 353 h en juillet
	Insola min : 160.9 h en juillet
Vents	V moy max = 2m/s en décembre
	Insola max = 1.46m/s
Précipitation	Précip max = 137.7mm en décembre
	Précip min = 2.6mm en juillet
Evaporation	Eva moy max = 168,8mm en juillet
	Eva moy min = 49,6 mm en février

Tableau 1 les données climatiques de la ville de Guelma

III.1.1.2 Diagramme ombro-thermique de Guelma

Le diagramme ombro-thermique de Guelma, fait distinguer deux périodes. La première froide et humide où la courbe de précipitations est au-dessus de celle des températures. La seconde est considérée chaude et sèche. La période humide débute d'octobre à avril et la période sèche s'étale de mai à octobre. Pour ce qui est de l'enneigement, il est enregistré 12,7 j/an à l'une des stations (Ain Larbi) et s'il neige sur les principaux sommets, les risques sur les plaines sont minimes. Quant au nombre de jours de gelées blanches, il est de l'ordre de -11 j/an à la station de Guelma et -33,5 j/an à la station de Ain Larbi. Par ailleurs, il est relevé 2.2 j/an de grêle à la station de Guelma et 3.6 j/an à la station d'Ain Larbi

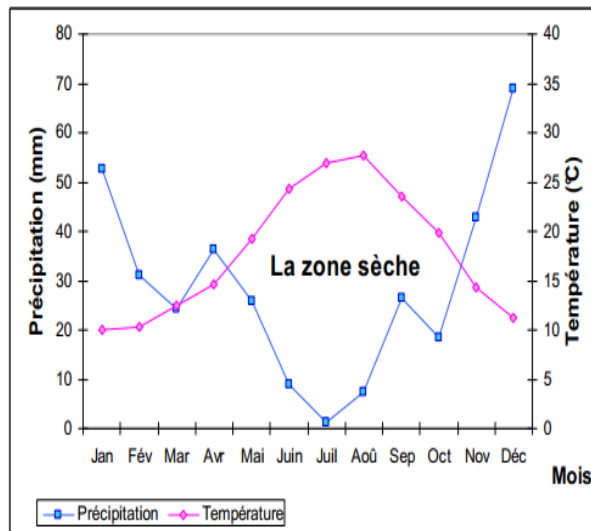


Figure 27 Diagramme ombro-thermique de Guelma

III.1.1.3 Diagramme solaire de Guelma

Afin de connaître la trajectoire annuelle apparente du soleil dans la ville de Guelma, on a procédé au calcul des hauteurs et des azimuts solaires. Les valeurs calculées le 21 de chaque mois sont indiquées au tableau ci-dessous.

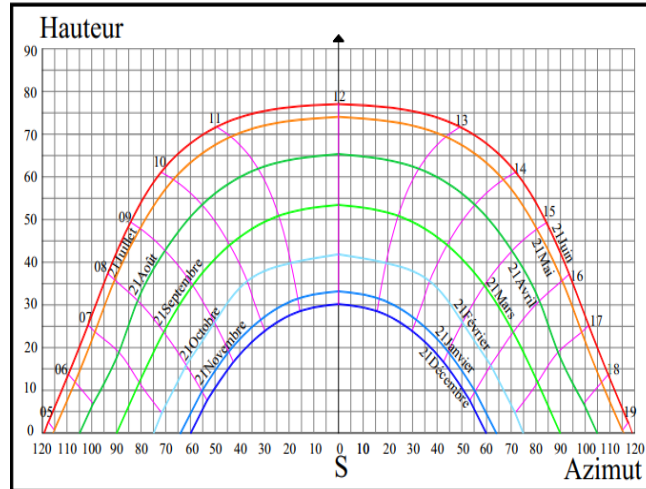


Figure 28 digramme frontaux de la ville de Guelma

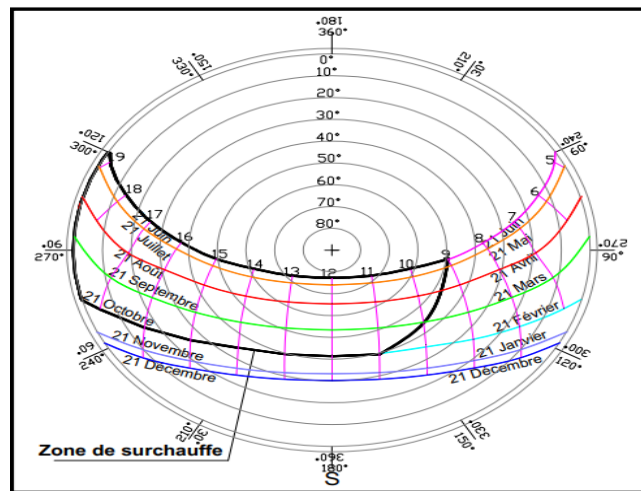


Figure 29 Diagramme polaire de Guelma (présentation de la zone de surchauffe en noir)

Heurs	Angle	21Jun	21 Mai et1 juillet	21Avril et 21Août	21Mars et 21Sept	21Fev et 21Octo	21janv et 21Nov	21Déce
12	H	77°16'	74° 16'	65° 47'	53° 52'	41° 97'	33° 28'	30° 27'
	A	0	0	0	0	0	0	0
13	H	71° 77'	69° 44'	61° 98'	50° 95'	39° 92'	31° 53'	28° 61'

	A	49° 38'	43° 68'	32° 64'	24° 25'	19° 29'	16° 53'	15° 69'
14	H	61° 15'	59° 40'	53° 51'	44° 11'	35° 66'	26° 58'	23° 89'
	A	71° 92'	66° 98'	55° 40'	44° 13'	37° 04'	31° 59'	30° 11'
15	H	49° 32'	47° 80'	42° 73'	34° 61'	25° 94'	19° 11'	16° 70'
	A	84° 38'	80° 54'	70° 47'	59° 22'	50° 34'	44° 50'	42° 63'
16	H	37° 25'	35° 75'	31°	23° 64'	15° 90'	09° 85'	07° 72'
	A	93° 64'	90° 78'	81° 55'	70° 97'	61° 83'	55° 45'	53° 30'
17	H	25° 27'	23° 71'	18° 95'	11° 92'	4° 80'		
	A	101°50'	98° 68'	89° 10'	80° 82'	71° 72'		
18	H	13° 62'	11° 92'	6° 92'				
	A	109°27'	106°72'	99° 52'				
19	H	2° 52'	0° 64'					
	A	117°50'	115°15'					
20	H							
	A							
Angle du soleil levant & couchant		60° 43' 4h 03'	64° 32' 4h 17'	75° 36' 5h 01'	90° 24' 6h 01'	104°63' 6h 59'	115°67' 7h 43'	119°58' 7h 58'

Tableau 2 Hauteur et azimut du soleil à « Guelma latitude 36°.28' »

Les trajectoires solaires du mois de décembre, novembre ou janvier sont très rapprochées. Le soleil se lève à 7h58' le 21décembre (solstice d'hiver: la plus courte journée de l'année) et se couche à 16h 03'. A midi, il prend une position inférieure à une hauteur de 30°27'et azimut 0. A 16h l'azimut atteint son maximum de 53°30'.Au 21 juin le soleil occupe une position supérieure à une hauteur maximale de 77°16' à midi. L'azimut atteint son maximum de 117°5' à 19h. Le lever de soleil est à 04h03' (solstice d'été: la plus longue journée de l'année) et le coucher est à 7h58'. Les trajectoires du mois de juin et juillet ou mai sont aussi très rapprochées. Au 21mars ou le 21 septembre (les équinoxes de printemps et d'automne) le soleil prend une position médiane entre les deux précédentes à une hauteur de 53°52' à midi. L'azimut atteint les 80°82' à 17h.

III.1.1.4 Le diagramme en thermoiso-plèthes de Guelma

Ce diagramme met en évidence les variabilités diurnes et saisonnières des températures de l'air. Pour le tracé de ce dernier, on projette d'abord les températures mensuelles maximales et minimales sur la calculatrice des températures horaires. Puis on représente sur un tableau les températures pour chaque mois, où on trace les lignes d'égale température qui séparent les espaces d'un seuil de 5°C. En surcharge on présente le lever et le coucher de soleil.

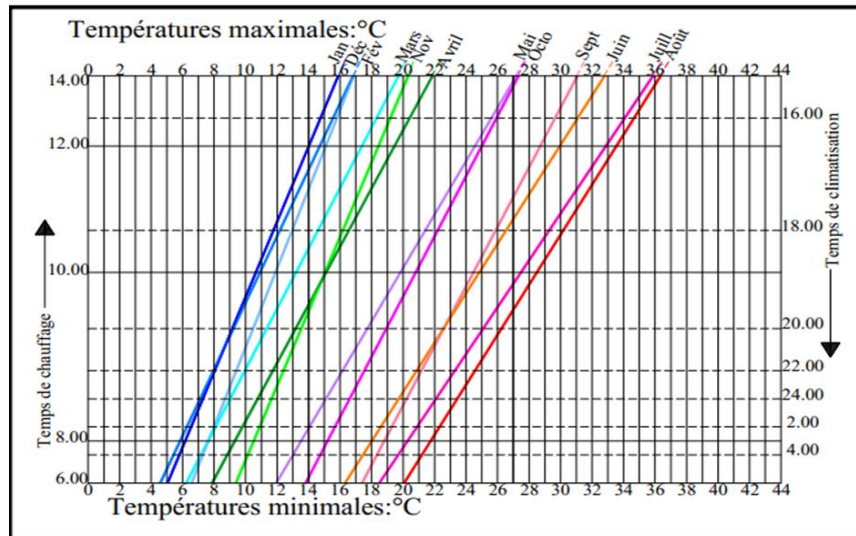


Figure 30 Calculatrice des températures horaires

La lecture de l'isotherme de Guelma fait ressortir cinq zones distinctes :

Zone de sous chauffe très froide, très réduite comprise entre 4.6 et 5°C. Elle concerne les mois les plus froids de janvier et février de 5h à 6h du matin.

Zone de sous chauffe froide, comprise entre 5 et 15°C, concerne la saison de l'hiver de décembre à février, de 16h à 00h et de 1h à 12h et la saison de printemps de mars à mai de 20h à 00h et de 1h à 11h.

Zone de confort, définie par la température neutre de 23.14°C, comprise entre 20 et 26.14°C d'avril à novembre.

Zone de chauffe, comprise entre 30 et 35°C concerne les mois de juin, juillet, août et septembre de 10h à 18h.

Zone de surchauffe : Comprise entre 35 et 36.3°C concerne les mois les plus chauds (juillet et août de 13h à 16h). A savoir que la zone de surchauffe peut se rapporter sur le

diagramme solaire frontal ou polaire. Tracée à partir de la limite supérieure de la zone de confort.(SZOKOLAY. S V)⁶³

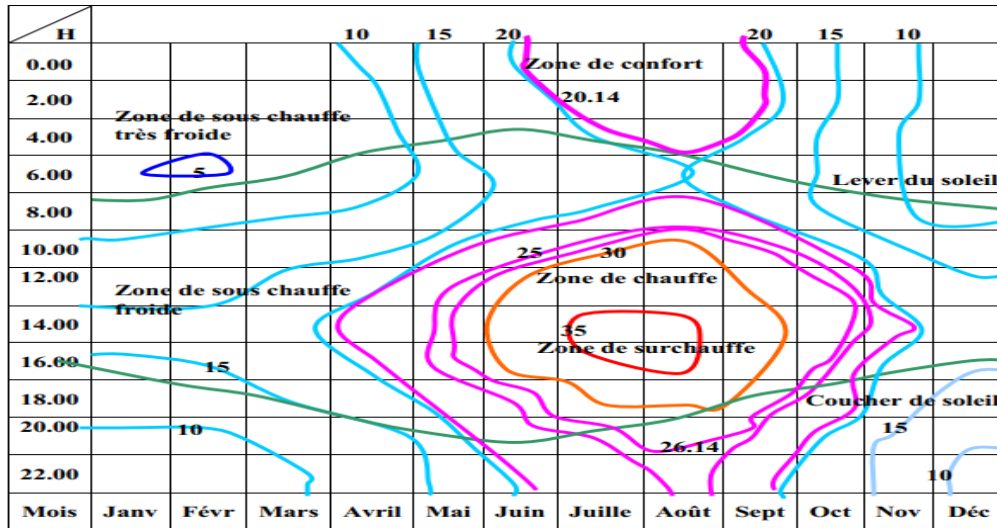


Figure 31 Courbes d'égaies températures (isopleth) par mois et en heure de Guelma.

Le diagramme peut être résumé en trois zones principales : la zone de sous chauffe qui s'étale durant la saison d'hiver le jour comme la nuit, et la saison de printemps et l'automne uniquement la nuit. La zone de confort, présente en saison d'automne et de printemps le jour et la saison d'été la nuit. Enfin la zone de surchauffe qui dure pendant l'été le matin et l'après-midi. Les températures à Guelma comme ailleurs, varient principalement avec le moment de l'année où l'alternance du jour et de nuit permet de définir l'amplitude thermique diurne



Figure32 Différents éléments influençant le microclimat de Guelma

⁶³ .(SZOKOLAY. S V, *Environmental science handbook for architects and builders*, LONDON, NEW YORK , LACASTRE: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980, p320.)

III.1.1.5 Microclimats de la ville

Le territoire Guelmi se caractérise par un microclimat sub-humide au centre et au nord, et semi-aride vers le sud. La diversité des microclimats est due à l'influence de plusieurs paramètres qui participent simultanément. Surtout à l'élévation du taux d'humidité comme son rapprochement par rapport à la mer (60Km), la présence de oued Seybouse, le massif forestier intense, les sources thermales et les barrages. On donne dans ce qui suit en chiffres l'importance de chaque paramètre, d'après des données recueillies auprès de la D.P.A.T Guelma « monographie 2004 »:

III.1.1.6 Eléments influençant le microclimat

III.1.1.6.1 Relief

La géographie de Guelma se caractérise par un relief diversifié avec une importante couverture forestière se décompose comme suit :

Montagnes : 37,82 % dont les principales sont :

- 1 – Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 M d'Altitude
- 2 – Houara (Ain Ben Beidha) : 1.292 M d'Altitude
- 3 – Taya (Bouhamdane) : 1.208 M d'Altitude
- 4 – D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 M d'Altitude

Plaines et Plateaux : 27,22 % / **Collines et Piémonts** : 26,29 % / **Autres** : 8,67 %

Le territoire de Guelma comporte globalement 04 zones hydrogéologiques distinctes. La zone des plaines de Guelma et Bouchegouf, dont les nappes captives s'étendent sur près de 40 Km le long de la vallée Seybouse. Elles enregistrent un débit de 385 l/s. Elles constituent les plus importantes nappes de la Wilaya.

III.1.1.6.2 Potentialités hydrauliques :

264,96 Million m³ d'eaux mobilisables dont :

- **Eaux souterraines** : 04 sous bassins versants (hydriques) et 997 points d'eau opérationnels

totalisant un potentiel total de 40,6 Millions m³/an.

- **Eaux superficielles** : 224,86 millions m³ se répartissant comme suit :

- * Barrage de Bouhamdane : 220 millions m³ ;
- * Barrage de Medjez-Beggar (Ain Makhoulouf): 2,86 millions m³;
- * Important nombre de retenues collinaires : 1,578 millions m³ ;

Principaux Oueds

1/ **O. Seybouse**: Traverse la plaine Guelma - Bouchegouf sur plus de 45 Km du sud au nord.

Son apport total est estimé à 408 millions m³/an.

2/ **O. Bouhamdane**: Prend sa source à l'ouest; d'un apport de 96 millions m³/an.

3/ **O. Mellah**: Provenant du sud-est; d'un apport total de 151 millions m³/an.

4/ **O. Charef**: Prend sa source au sud; d'un apport total de 107 millions m³/an.

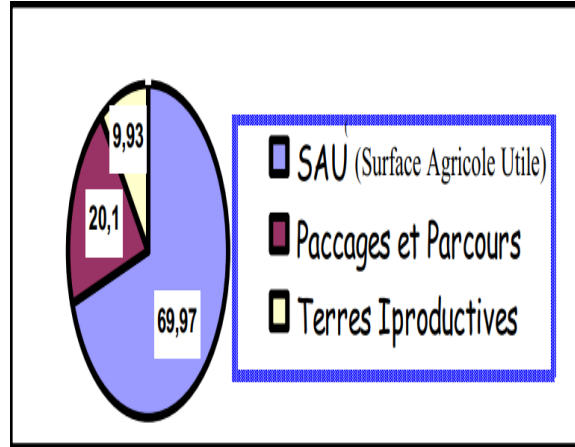


Figure 33 Répartition de la superficie agricole/SAT

(Source : Services agricoles de Guelma, 2004)

D'une vocation essentiellement agricole, Guelma recèle un important potentiel. Avec 266.000 Ha de surface agricole totale, soit 72,15 % de la superficie totale. La surface agricole utile est de près de 186.122.Ha. Une superficie de pacages et parcours de 53.473 ha, soit 14,50 % de la superficie totale de la wilaya et 20,10 % de la SAT Les terres improductives de 26.405 ha, soit 7,16 % de la superficie totale de la Wilaya et 9,92 % de la S.AT. La superficie irrigable est près de 17.343 Ha, soit 9,35 % de la SAU.



Figure 34 Barrage de Bouhamdene

(Source : Direction de la pêche et des ressources halieutiques de Guelma)



Figure 35 foret de beni salah

(Source : D.P.A.T Guelma, 2004)

III.1.1.6.3 Potentialités forestières

La superficie de couverture forestière totale est de 106.145 ha, soit un taux de 28,79 % de la superficie de la Wilaya. Le paysage forestier est discontinu et hétérogène confiné dans des massifs répartis d'ouest en est. Les grands espaces de terrains à vocation forestière sont dans la partie sud-est. Un important potentiel de bois (chêne zen et liège aux forêts de Béni Salah à Bouchegouf , de Houara à Ain Ben Beida et Djeballah, Mahouna à Ben jerrah et Béni Medjeled à Bouhamdane) totalisant près de 19.771 ha de forêts et moyennant une production de l'ordre de 510,10 stères de chêne zen et chêne liège et de 345 m³ de bois

III.1.1.7 Les sources thermales

Les plus importantes sont hammam Debagh ; hammam Ouled Ali, hammam N'bails et hammam Belhachani.

III.2 Analyse de cas d'étude : département d'architecture à l'université du 8 mai 1945 Guelma

III.2.1 Présentation et situation du projet

Ce projet est un département d'architecture qui se situe à l'ancien pôle universitaire à Guelma

Comprend 350 étudiants divisés en 5 années.

Il est Limité au nord et au sud par des terrains vides, à l'est par un jardin, et à l'ouest par un autre département



Figure 36 plan de situation de département

(Source : Google Earth)

III.2.1.1 Plan de masse

Le département est accessible à partir d'une voie mécanique au nord et par une voie piétonne, il possède 2 accès. Il contient un patio au milieu, avec une présence des arbres au côté est et ouest qui permis de la fraîcheur



Figure 37 plan de masse

(Source : Auteur)

III.2.1.2 Les façades

Les façades Est et ouest présentent un maximum d'ouvertures pour bénéficier aux salles des classes de l'ensoleillement et l'éclairage

La façade rythmique avec des fenêtres identiques

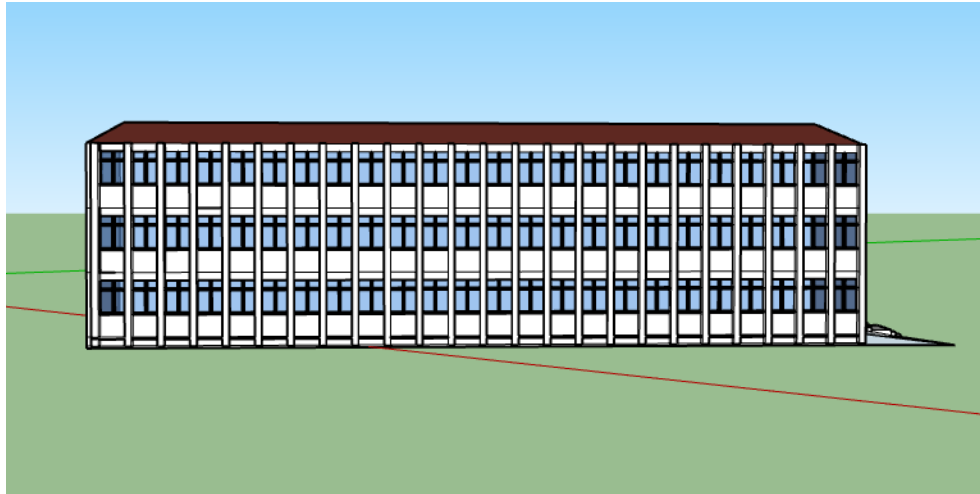


Figure 38 la façade latérale

(Source : auteur)

III.2.1.3 Volume

Le département est de forme de deux rectangle parallèle reliée par les escaliers est un couloir le milieu est un patio ouvert

La toiture en tuile et il de forme inclinée

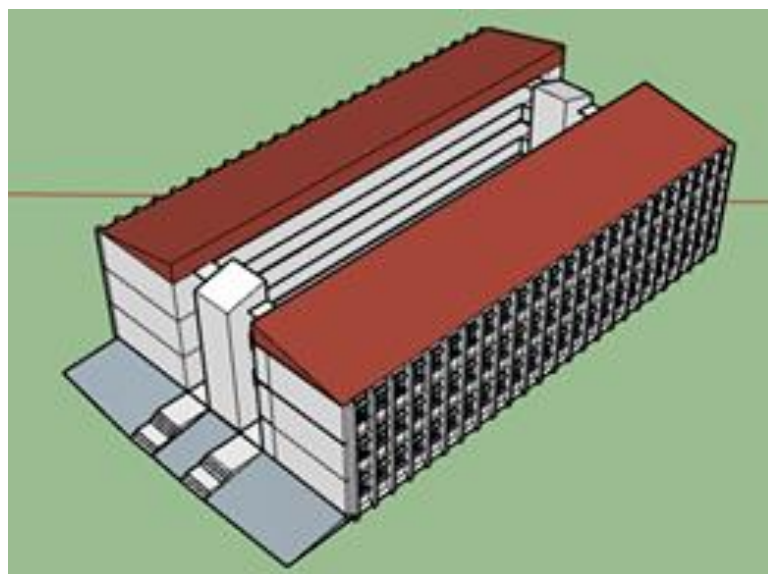


Figure 39 volumétrie de département

(Source : auteur)

III.2.1.4 Etude des plans

Ce département est de R+2 avec dispose 15 salle de classe, 2 laboratoires, 5 ateliers, des bureaux pour les enseignants et 2 administrations le tout est organisé autour d'un patio au milieu

III.2.1.4.1 Plan de rez-de-chaussée

Le plan de rez-de-chaussée se compose de 3 salles de classes, un amphi, deux bureau ; les sanitaires, deux laboratoires et 2 salles de dessin qui donne direct sur un patio ouvert

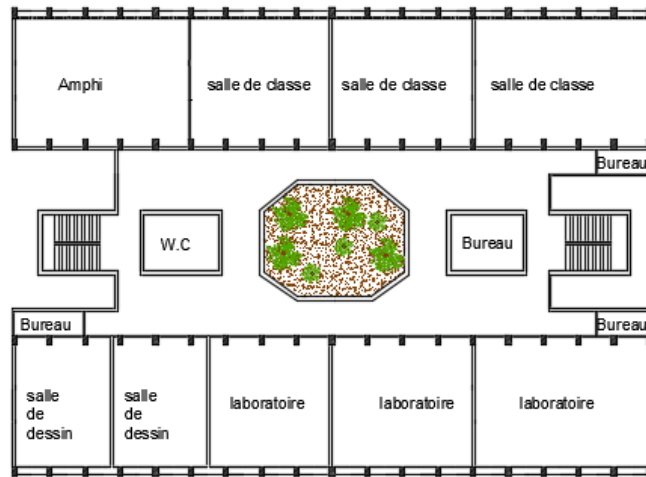


Figure 40 Plan Rez-de-chaussée (Source : Auteur)

III.2.1.4.2 Plan de 1^{er} étage

Le 1^{er} étage se compose de 4 ateliers et 4 salles de classe, 3 bureaux et des sanitaires reliés par des couloirs et organisés autour de patio ouvert

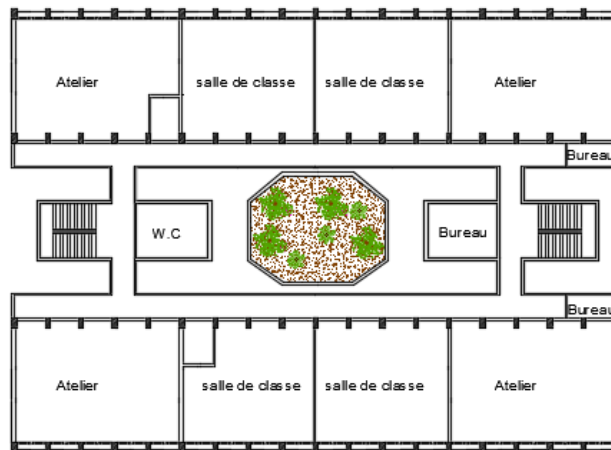


Figure 41 plan 1^{er} étage (Source : Auteur)

III.2.1.4.3 Plan 2^{ème} étage

Le 2^{ème} étage se compose de l'administration un bureau d'enseignant et des salles de classe avec des sanitaires

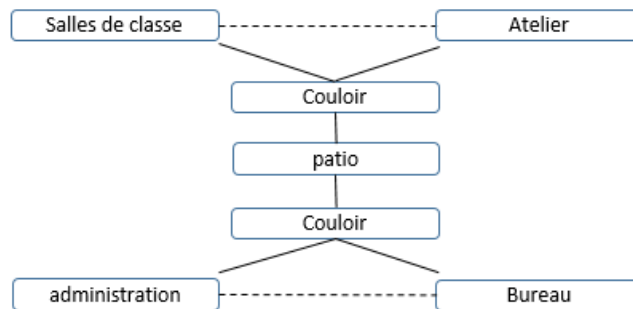


Figure 42 organigramme de 2^{ème} étage

(source : Auteur)

———— Relation direct

----- Relation indirecte

III.2.2 Application sur le cas d'étude (simulation)

III.2.2.1 Etapes de travail par Ecotect

Les étapes du travail de simulation via le logiciel sont : la préparation, le dessin et l'analyse

III.2.2.1.1 Préparation

- Télécharger les données climatiques de la région

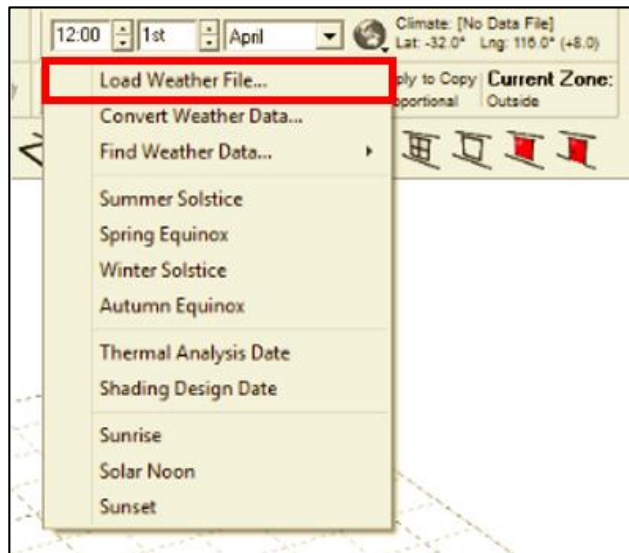


Figure 43 première étape de téléchargement des données climatiques

(Source : Auteur)

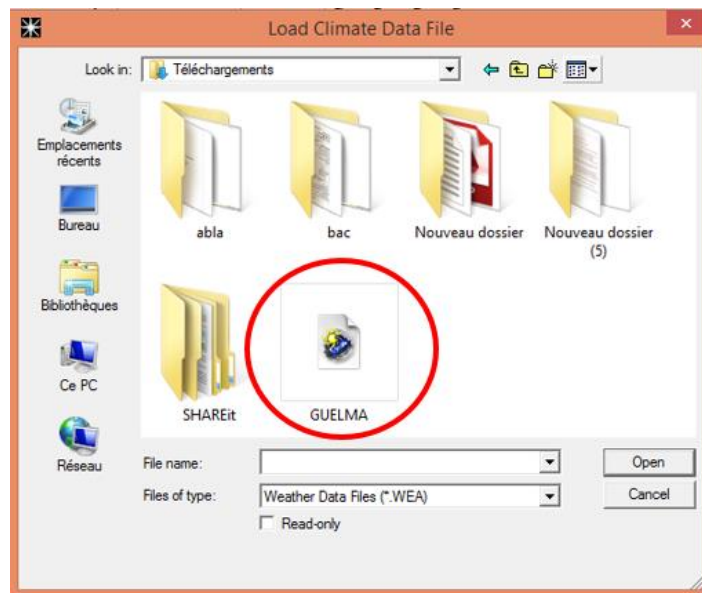


Figure 44 le fichier climatique de Guelma

(Source : Auteur)

- Donner un nom au dessin

On a donné le nom : PLAN SIMULATION DEPARTEMENT pour faciliter l'accès de ce fichier qu'on le besoin, et le distinguer aux autres fichiers Ecotect

III.2.2.1.2 Dessin

- Fixer le nord :

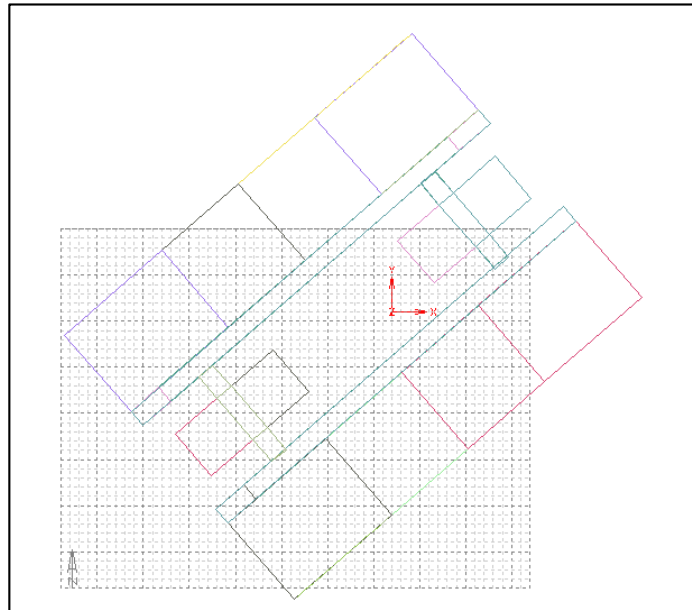


Figure 45 le Plan sur ecotect

(Source : auteur)

- Fixer la hauteur des espaces

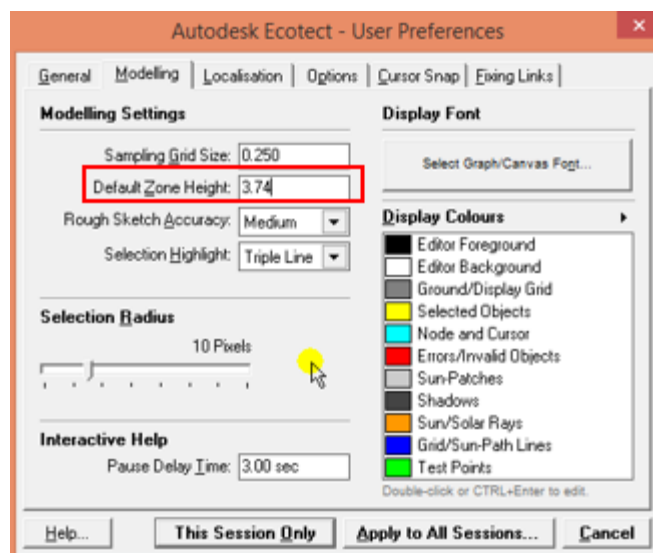


Figure 46 la fixation de la hauteur sur Ecotect

(Source : Auteur)

- Choisir les matériaux de construction

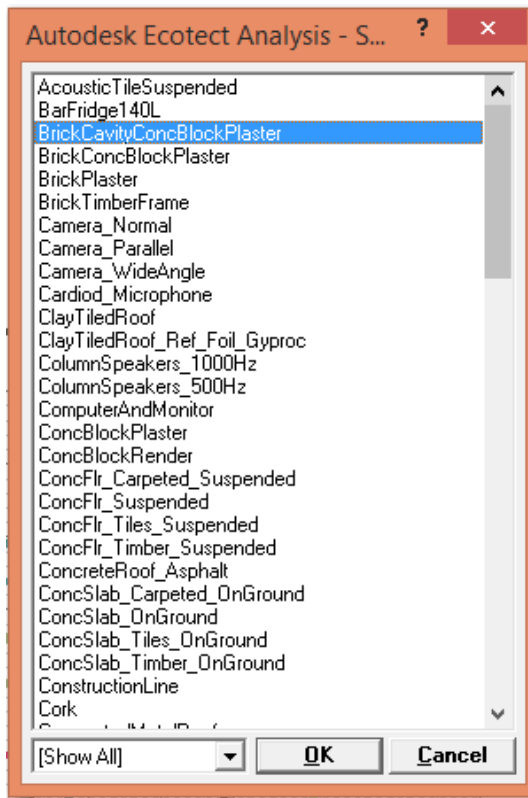


Figure 47 choix du matériau de construction "Brick"

(Source : Auteur)

- Nous pouvons, aussi, désactiver le calcul des données thermiques pour les zones non concernées par l'étude

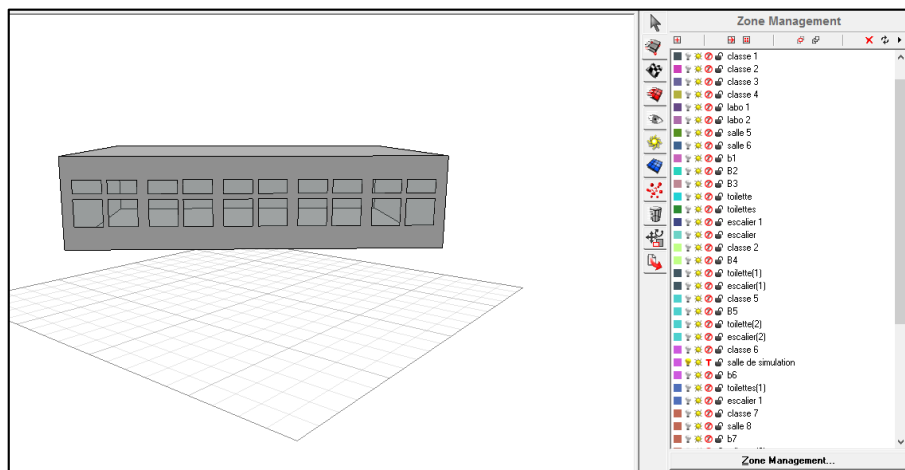


Figure 48 la salle concernée par la simulation sur Ecotect

(Source : Auteur)

III.2.2.1.3 Analyse :

- Définir le paramètre à mesurer (température, la vitesse de l'air)
- Définir la période et l'heure d'étude

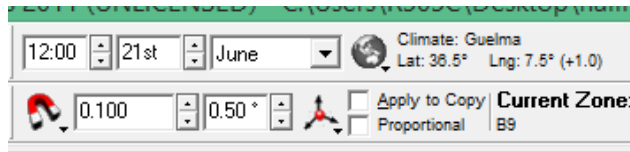


Figure 49 la période et l'heure d'étude

(Source : Auteur)

- Lancer l'analyse

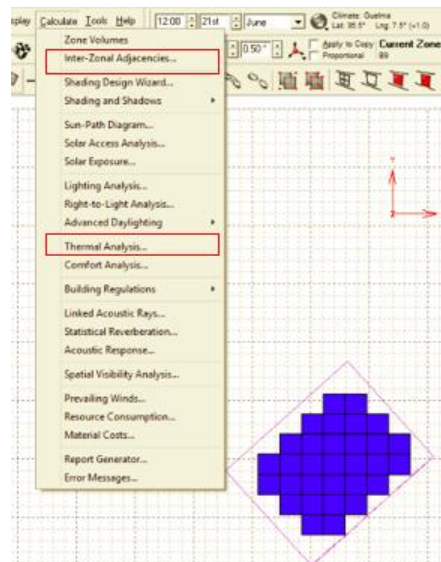


Figure 50 la dernière étape de l'analyse

(Source : Auteur)

III.2.2.1.4 Interprétation des résultats

La simulation présente dans les figures suivantes montre la variation de ces paramètres climatiques : la température, la vitesse du vent pendant les journées types d'été. Ces paramètres sont calculés par Ecotect

La température La station a enregistré la valeur la plus élevée qui est égale à 31° C la matinée et 32° C l'après-midi

La vitesse du vent : La station a enregistré la valeur la plus élevée qui est d'environ 10 m/s , la valeur minimal 3 m/s

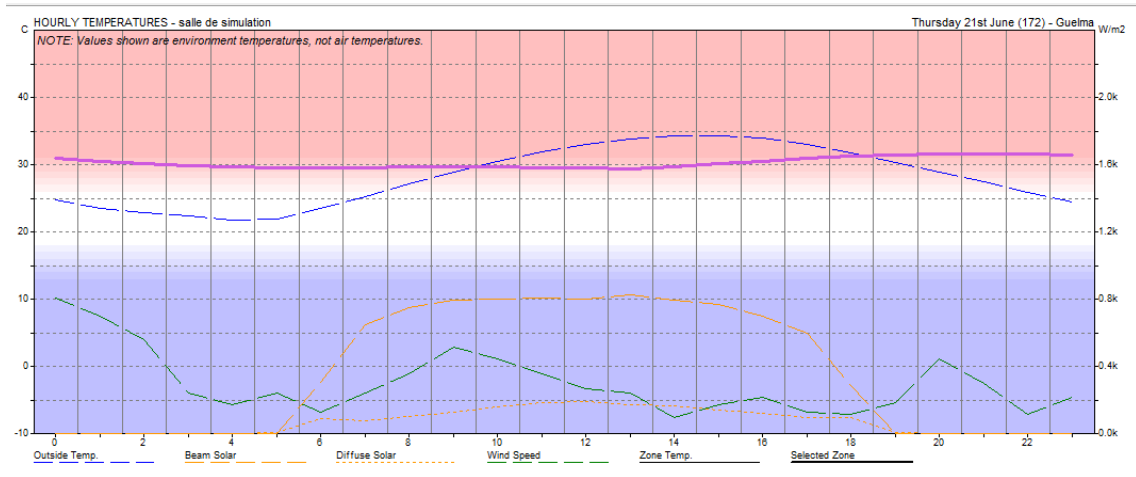


Figure 51 les résultats obtenus de l'analyse sur Ecotect (Source : Auteur)

Le résultat après l'intégration de la végétation

Après qu'on a obtenu les résultats de la simulation sur la façade nue on a répété l'analyse après l'intégration de la végétation sur la façade

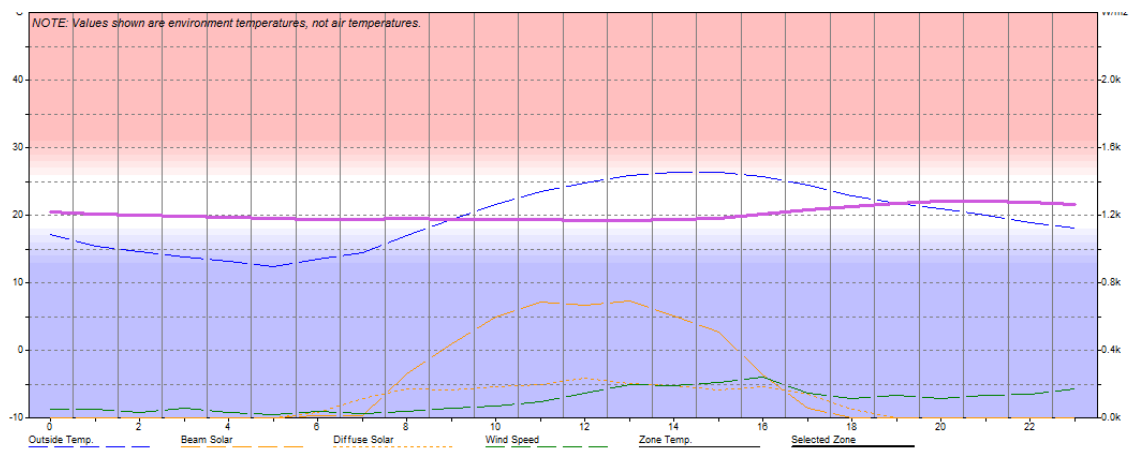


Figure 52 le Résultat de simulation après l'intégration de la végétation (Source : Auteur)

La température : La station a enregistré la valeur la plus élevée qui est égale à 20 ° C la matinée et 22° C l'après-midi

La vitesse du vent : La station a enregistré la valeur la plus élevée qui est d'environ 6 m/s , la valeur minimal 2 m/s

Conclusion

Les observations issues de cette analyse concernant l'effet de l'écran végétal sur les bâtiments sous les conditions climatique de Guelma soulignent :

- le rôle important que joue la végétation implantée à côté du bâtiment dans la régulation des apports externes.
- La réduction des gains de chaleur.
- Grâce à l'ombrage et l'évapotranspiration du feuillage, les variations de températures sont régulées durant toute la journée pendant les jours les plus chauds

Par conséquent, l'impact de la végétation, ne devra plus avoir seulement une fonction d'agrément et d'ornementation mais devra être utilisé comme stratégie pour le confort des usagers. La présence de végétation sur des façades permet d'obtenir des effets esthétiques et thermiques intéressants. Comparativement à une paroi en "dur" qui s'échauffe au soleil, la paroi végétale joue le rôle d'une "paroi froide" très performante.

Nous pouvons alors conclure que nos hypothèses sont confirmées : Dans un contexte de développement urbain durable, les toitures et les façades végétales, de typologies variées, ont un potentiel considérable pour répondre à la problématique de l'inconfort à l'intérieur des équipements éducatifs. Ainsi, la végétation attenante aux équipements constitue une protection saisonnière susceptible de remédier aux problèmes liés aux surchauffes, procure de l'ombrage et réduit donc l'insolation directe sur les équipements. Elle constitue par conséquent une stratégie efficace de rafraîchissement sous le climat de la ville de Guelma

CHAPITRE IV :

Processus de conception

Introduction

Dans ce chapitre on analysera les exemples de deux centres de recherches en biologie à partir des quels on s'inspirera de tout ce qui est commun pour notre centre en sortant des programmations.

« Le programme est un moment fort du projet. C'est une information obligatoire à partir de laquelle l'architecture va pouvoir exister. C'est un point de départ mais aussi une phase préparatoire»⁶⁴

Par la suite on fera des analyses du terrain qui vont nous apporter les atouts et les contraintes dont il présente.

IV.1 ANALYSE DES EXEMPLES

IV.1.1 LE MRC (MOLECULAR RESEARCH CENTER)⁶⁵

Le MRC Laboratory of Molecular Biology est un centre de recherche de premier plan au cœur de Cambridge. Il est dédié à la recherche et la compréhension de l'importance des processus biologiques qui se produisent à un niveau moléculaire.



Figure 53 Le MRC (Mollecular Recherche Center)
Source : <https://www.ioshmazine.com>

⁶⁴ Cahier de l'EPAU n°2-3 1993, «programmation et conception en architecture»; essais méthodologiques », M. Azouz ; enseignant à l'EPAU

⁶⁵ <https://www2.mrc-lmb.cam.ac.uk>

IV.1.1.1 Situation

Le centre est situé au cœur de l'une des concentrations les plus importantes et les plus compétitives sur le plan international de talents et d'entreprises liés aux soins de santé en Europe.



Figure 54 situation du MRC

Source : <https://www2.mrc-lmb.cam.ac.uk>

IV.1.1.2 Conception et construction

Conçu par les architectes RMJM, et construit par BAM Construction, les travaux préliminaires sur le bâtiment ont commencé à l'été 2008 et il a été officiellement ouvert par la reine en mai 2013. Le bâtiment fournit environ 27 000 m² d'un espace de travail de classe mondiale, divisé en trois étages principaux.

IV.1.1.3 Plan de masse

Sur le plan du bâtiment juste à l'extérieur de Cambridge émerge un chromosome légèrement asymétrique, avec six blocs séparés de 50 m reliés par un atrium central et par des tours croustillantes en acier inoxydable Placées de chaque côté ; le Laboratoire de biologie moléculaire cherche à décrire l'objet de son travail dans sa forme.

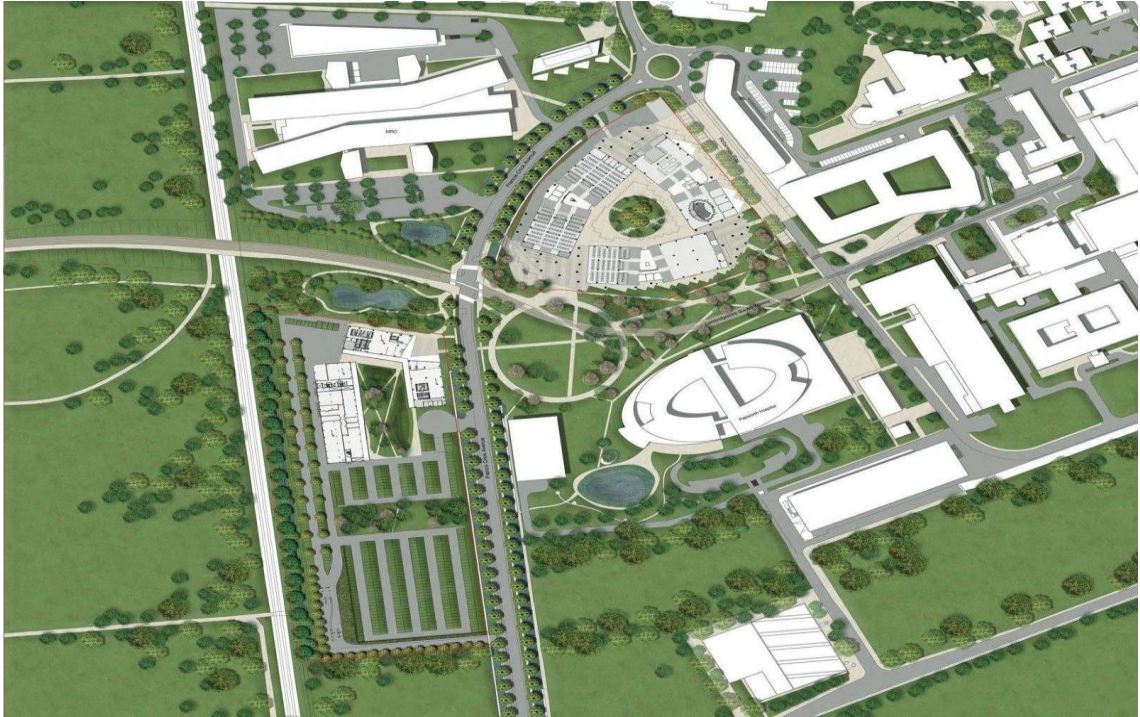


Figure 55 Plan de masse
Source <https://www.ioshmagazine.com>

IV.1.1.4 Façades

Le bâtiment est revêtu de verre, offrant un design léger et spacieux. L'accumulation de chaleur est réduite par des stores vénitiens automatiques, entre le double vitrage standard et une peau de verre extérieure.



Figure 56 Façade principale du MRC
Source : <https://www.aecom.com/>

IV.1.1.5 Etude de l'intérieur du bâtiment :

Abritant 440 scientifiques et 160 membres du personnel de soutien, le centre fournit environ 27 000 mètres carrés d'espace de travail dans deux longs bâtiments de laboratoire. Ceux-ci sont rejoints par un atrium central de 20 mètres de haut.

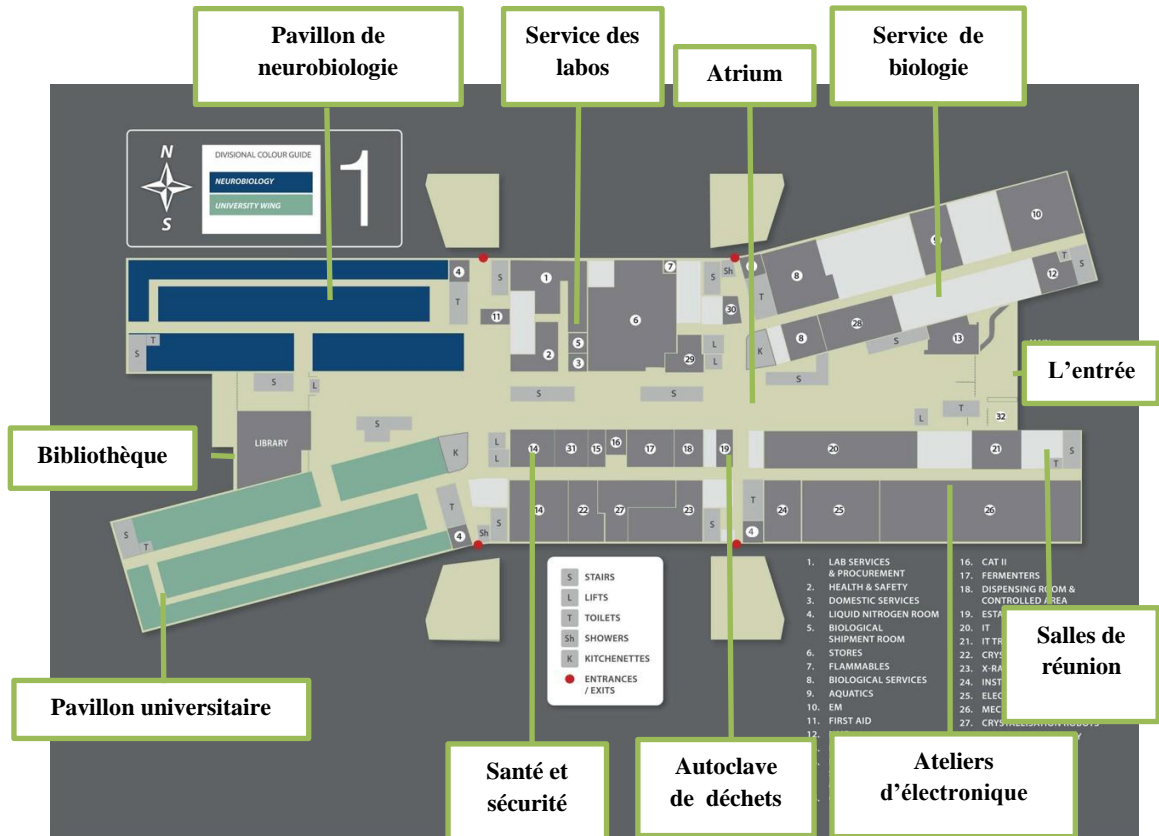


Figure 17 plan RDC
Source : <http://www.bam.co.uk>

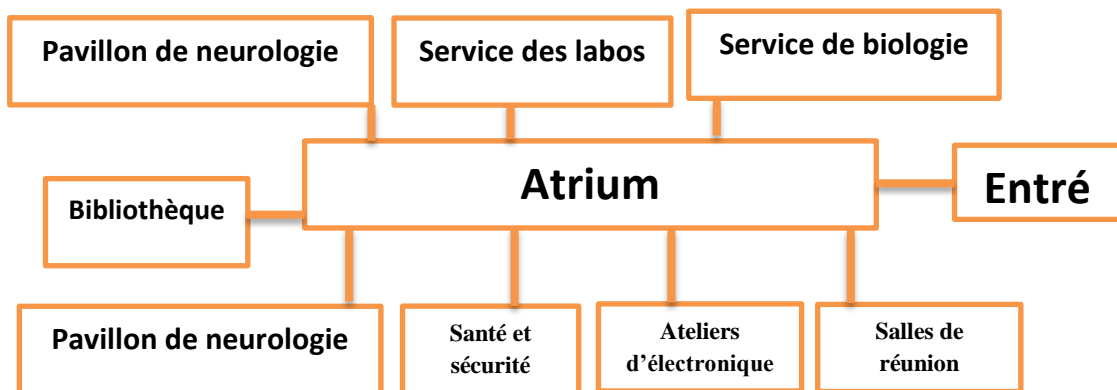


Figure 58 Organigramme du plan RDC
Source : auteur

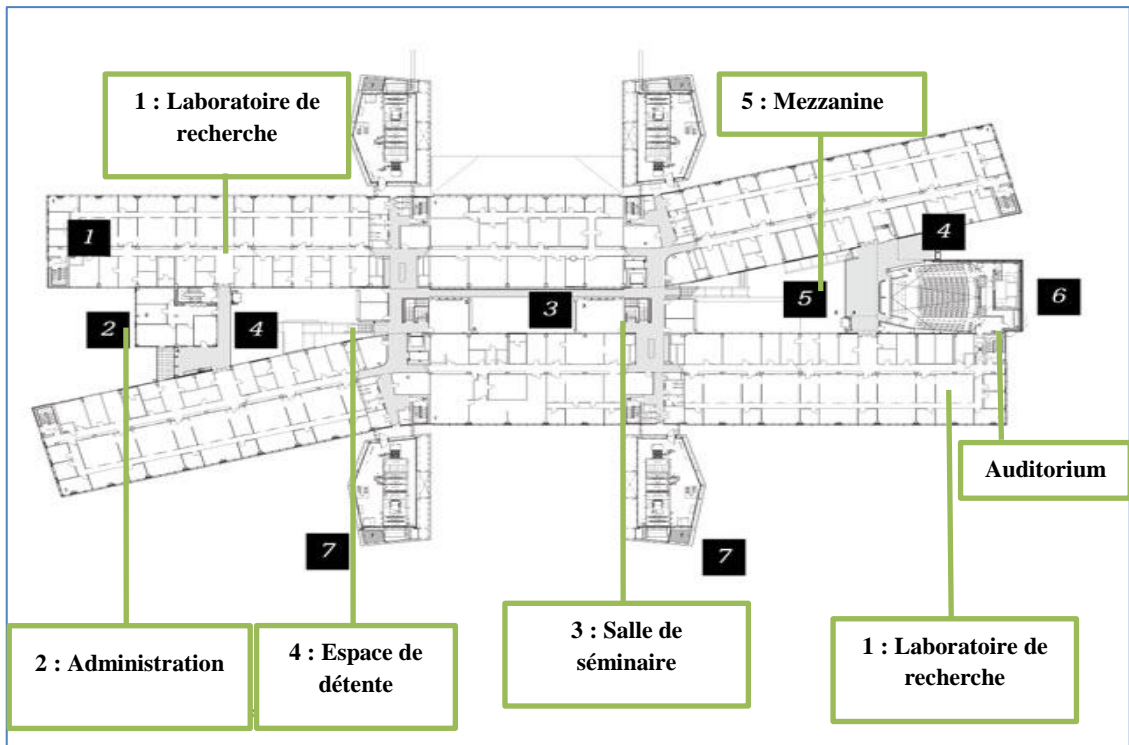


Figure 59 Plan d'étage
 Source : <http://www.bam.co.uk>

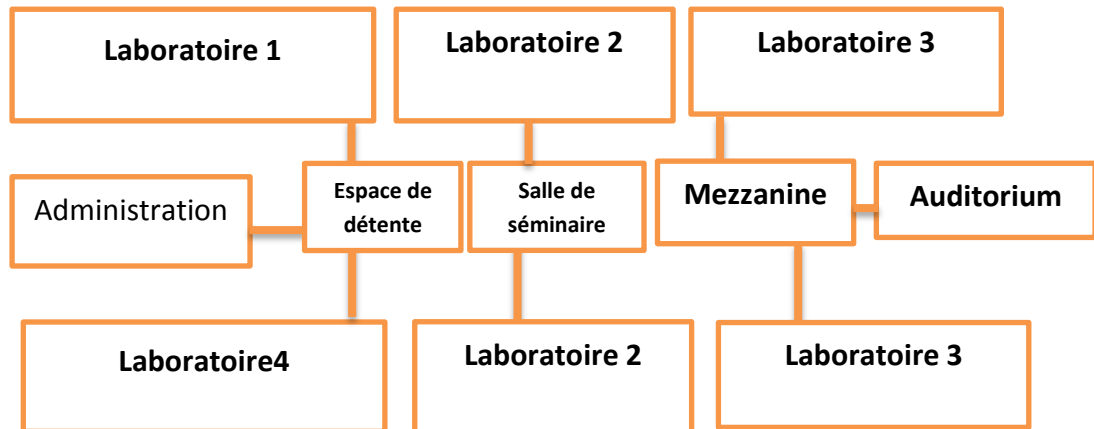


Figure 60 Organigramme du plan d'étage
 Source : auteur

- La forme du plan favorise une interaction forte, facile et flexible entre les groupes de recherche dans le bâtiment tout en maintenant une zone identifiable pour les principaux groupes de recherche avec **des espaces des bureaux, des salles de réunion et des salles de séminaire.**

- Les bureaux divisionnaires et les salles de séminaire sont situés aux deux points de passage de l'atrium central, où des escaliers relient également les étages et donnent accès à des «zones d'évasion» informelles.
- Les extrémités de l'atrium abritent un amphithéâtre au-dessus de l'entrée et, à l'opposé, la pile ouest comprenant **une bibliothèque, des bureaux administratifs et un service d'aides visuelles.**
- Les principaux laboratoires sont composés de modules de 1000m² composés chacun **d'établis, d'espaces d'écriture, de bureaux de groupe et de locaux d'équipement**, en plan semi-ouvert, favorisant les interactions entre les scientifiques et la création d'un environnement ouvert.
- De nombreux espaces sont également consacrés aux installations scientifiques et aux services de soutien : **informatique scientifique, laboratoires de chimie, rayons X, microscopie électronique et optique, spectrométrie de masse, magasins, ateliers, informatique, maintenance et gestion de laboratoire.**

IV.1.1.6 Le programme

L'étage	Les espaces
RDC	<ul style="list-style-type: none"> • Atrium • Service de Biologie • Service des labos • Autoclave de déchets • Salles de réunion • Bibliothèque • Pavillon de neurologie • Pavillon universitaire • Ateliers de mécanique • Sécurité et santé • Kitchenettes • Sanitaires • Service d'instruments • Magasin

1^{er} étage	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoires de recherche • Salle de séminaire • Administration • Auditorium • Espace de détente
2eme étage	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoires de recherche • Un restaurant

Tableau 3 Le programme du MRC

IV.1.2 THE FRANCIS CRICK INSTITUTE ⁶⁶

The Francis Crick Institute (anciennement UK Center for Medical Research and Innovation) est un centre de recherche biomédicale à Londres, ouvert en 2016 .il est un partenariat entre Cancer Research UK , Imperial College London , Le King's College de Londres (KCL), le Medical Research Council , University College London (UCL) et le Wellcome Trust . Il est prévu que l'institut compte 1 500 employés, dont 1 250 scientifiques. Ce qui en fait le plus grand laboratoire biomédical unique en Europe.

L'institut porte le nom du biologiste moléculaire, biophysicien et neuroscientifique britannique Francis Crick , co-découvreur de la structure de l' ADN



Figure 61 The Francis Crick Institute
Source : Imperial College London

⁶⁶ <https://www.crick.ac.uk/>

IV.1.2.1 Situation

Le Francis Crick Institute est situé dans un nouveau bâtiment ultramoderne construit à côté de la gare de St Pancras International dans la région de Camden au centre de Londres.

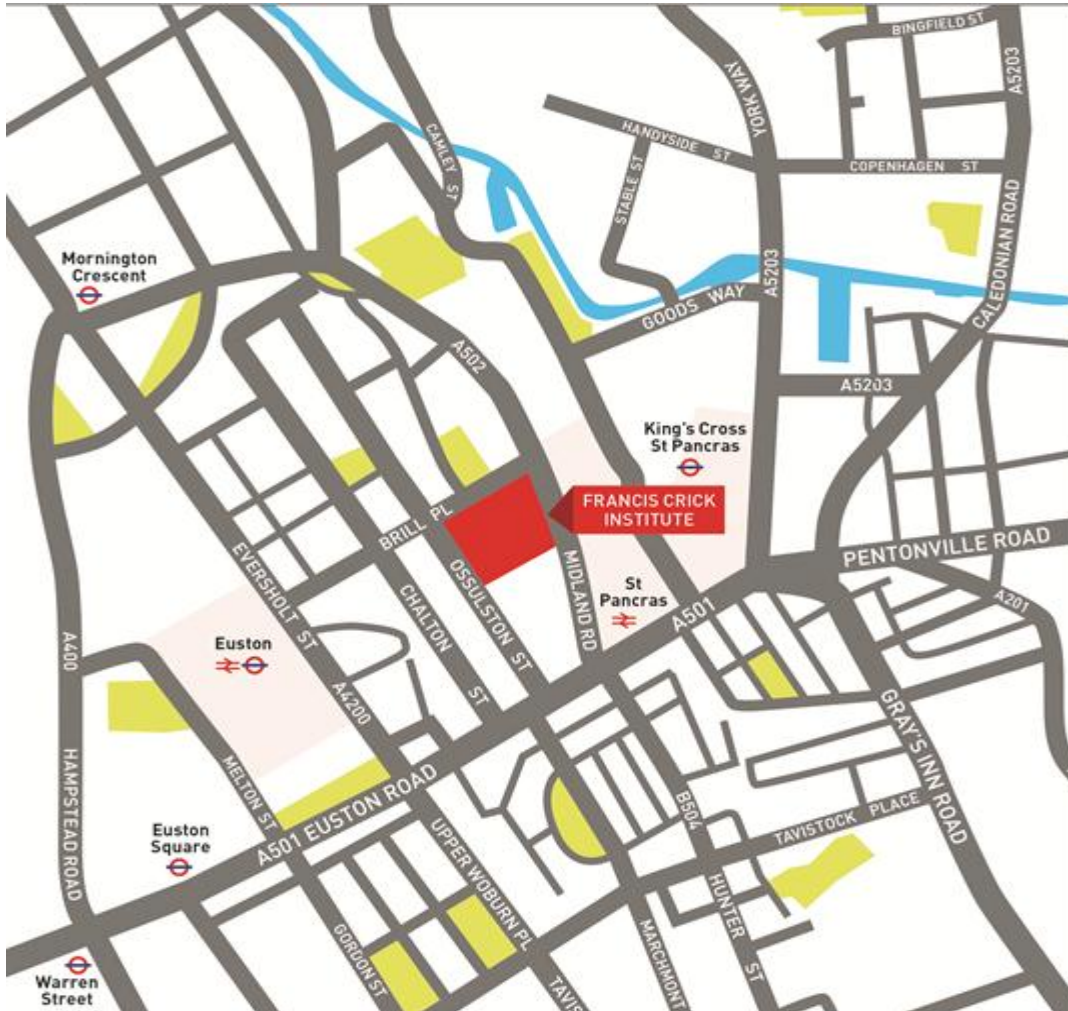


Figure 2: situation de l'institut
Source :Imperial College London

IV.1.2.2 Conception et construction

L'Institut Francis Crick a mis cinq ans à construire et la construction a été achevée en août 2016. Il a été conçu par HOK en collaboration avec PLP Architecture.

IV.1.2.3 L'aspect extérieur

La conception de l'extérieur du bâtiment répond au patrimoine architectural de la zone tout en respectant la communauté résidentielle. Tant la maçonnerie et le toit voûté distinctif rappellent les caractéristiques de la station adjacente St. Pancras International.



Figure 63: L'aspect extérieur de l'institut

Source : hok.com

IV.1.2.4 Plan de Masse

L'entrée principale est, en face de St Pancras International, fait face à une nouvelle place publique sur Midland Road. À l'ouest du bâtiment, un jardin entouré d'arbres et de bancs a été créé.

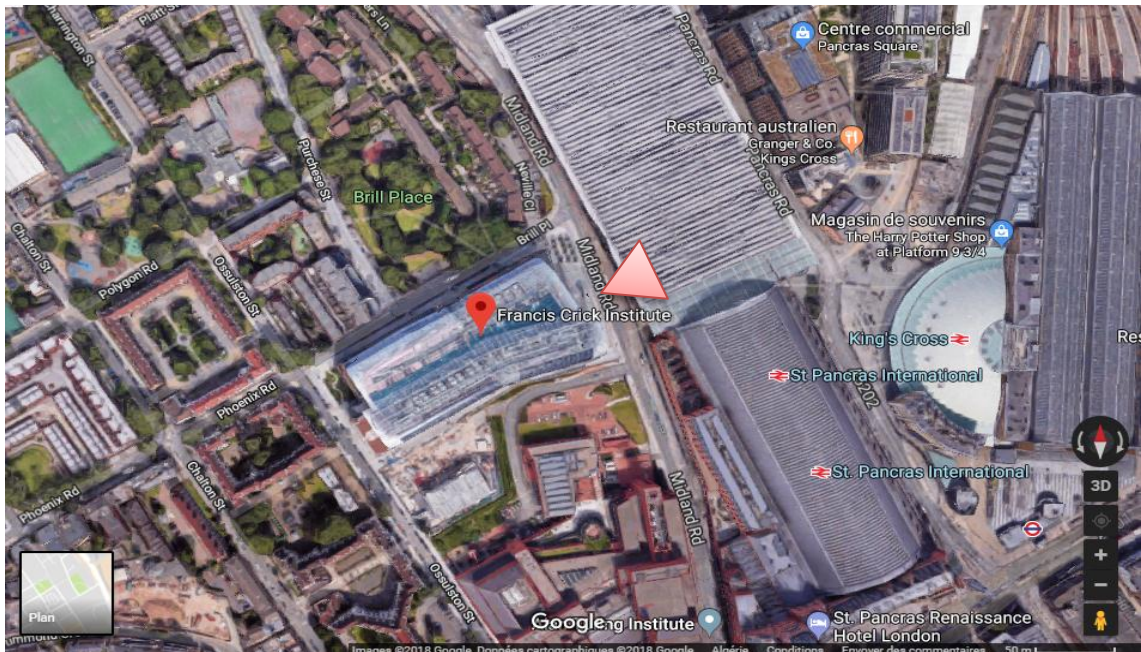


Figure 64 : Plan de masse

Source : Google earth

IV.1.2.5 Les façades

La façade rythmée de la base de maçonnerie en terre cuite établit également une relation d'échelle et de matérialité avec les bâtiments environnants des XVIIIe, XIXe et XXe siècles. L'échelle du bâtiment verticalement a été décomposée en parties constituantes du toit, du corps principal, et du rez-de-chaussée, et ce sont les façades principales de maçonnerie qui ont été individuellement mises à l'échelle et conçues en ce qui concerne leurs voisins.



Figure 65 : façade principale du centre
Source : <https://arstechnica.com/>

IV.1.2.6 Volumétrie

Le bâtiment est composé de quatre blocs séparés par l'atrium principal est-ouest et l'atrium transversal nord-sud plus petit.

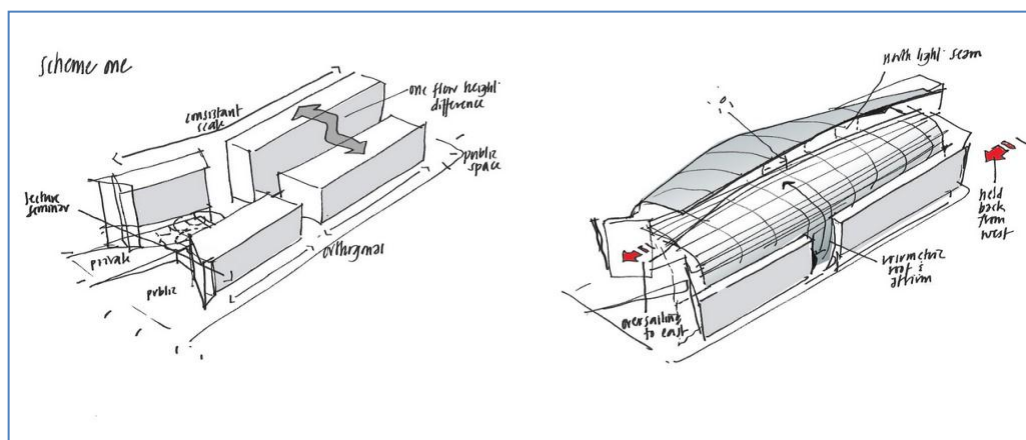


Figure 3 : le volume du centre
Source : architectural.com

IV.1.2.7 Etude de l'intérieur du bâtiment

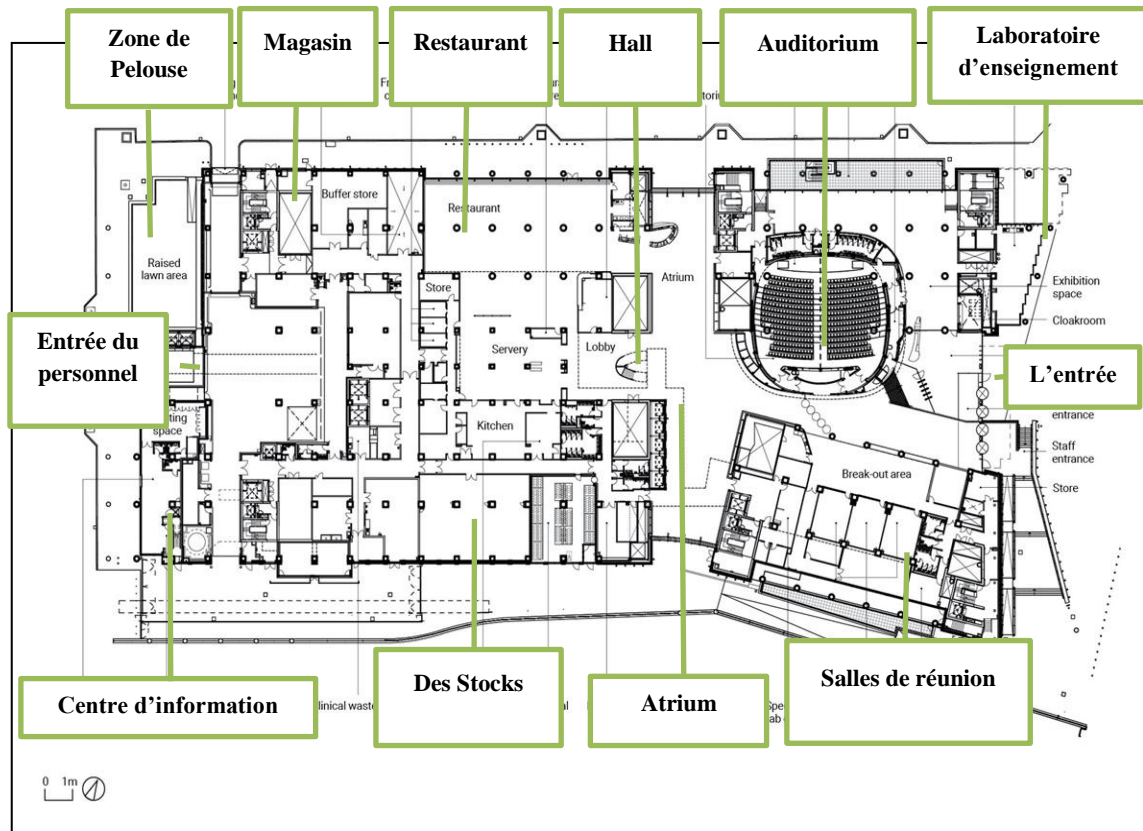


Figure 67: Plan du RDC

Source : <https://www.architectsjournal.co.uk>

- Le rez-de-chaussée dispose d'une variété d'espaces conçus pour faciliter les activités de groupe, avec un auditorium de 450 places offrant un cadre formel pour des conférences et des présentations.
- La salle de conférence et l'espace de la galerie ont été conçus pour fournir aux scientifiques un espace «poster».
- un laboratoire d'enseignement situé à côté de l'entrée principale.
- Le restaurant est équipé de la technologie nécessaire (Un écran de projection et un système de haut-parleurs est utilisés pour les événements sociaux afin de rassembler les gens).
- les atriums se croisent au centre du bâtiment pour créer un carrefour avec des aires de repos, un espace de collaboration informel, un grand escalier central et un concierge desservant tout l'étage.



Figure 4: l'intérieur du centre
 Source : <https://www.contractdesign.com>

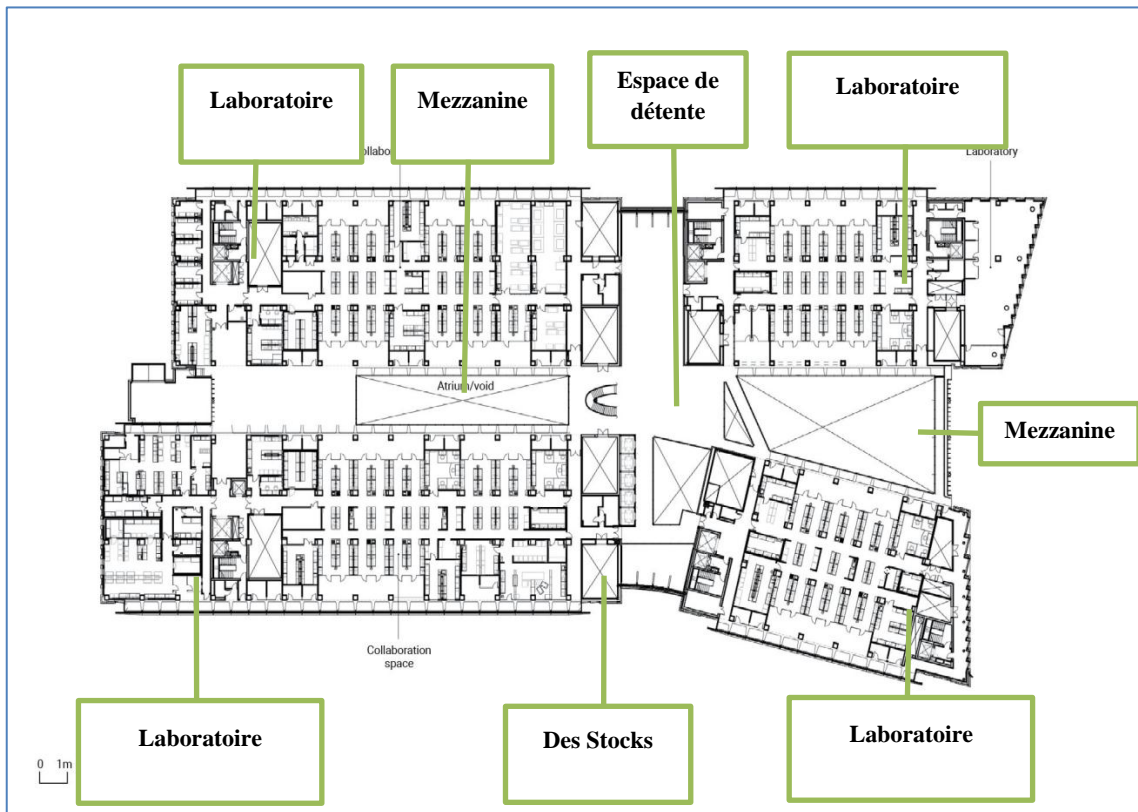


Figure 695 : Plan type du Centre
 Source : <https://www.architectsjournal.co.uk>

- Le bâtiment a quatre quadrants, reliés par deux atriums qui s'étendent sur toute la longueur et la largeur du bâtiment. Sur chacun des quatre étages du laboratoire, il y a une zone centrale avec un espace de travail et de collaboration, et un centre administratif.
- Les espaces de travail sont une caractéristique clé des étages de laboratoire, offrant un espace pour de petites réunions et discussions et pour des pauses
- La structure du bâtiment est très ouverte, avec peu de murs solides et une utilisation intensive du verre pour les murs et les portes. En conséquence, les chercheurs ont une connexion visible avec des collègues travaillant dans différentes parties du bâtiment. Le bâtiment est conçu pour favoriser le brassage, notamment à travers les espaces de collaboration.

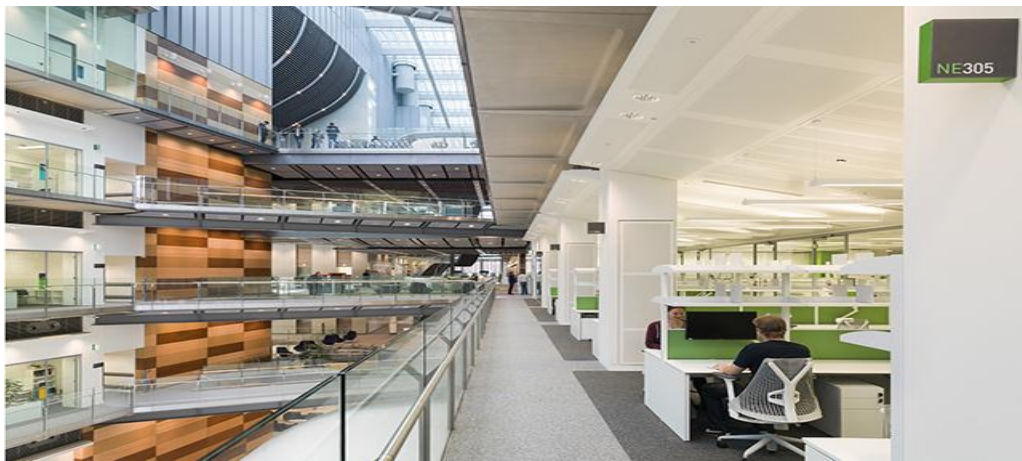


Figure70 : Les laboratoires du Crick Institute
Source : <http://www.hok.com/design/>

Le toit incurvé cache une grande partie de l'installation et des machines nécessaires pour les services de construction tels que le chauffage et confère au bâtiment un aspect distinctif.

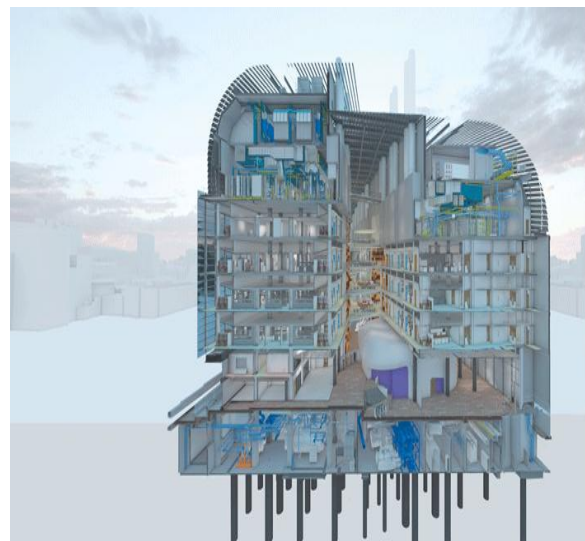


Figure 71: coupe du centre
Source : <https://www.alamy.com/>

IV.1.2.8 Le programme

L'étage	Les espaces
RDC	<ul style="list-style-type: none"> • Atrium • Auditorium • Salles de réunion • Un restaurant / cafétéria • Centre d'information • Accueil • Magasin/ stock • Laboratoire d'enseignement • Sanitaire
Plan Type (4 étages)	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoires de recherche • Espace de détente et de pause • Centre administratif

Tableau 4: le programme du Crick Institute

IV.1.2.9 Un Projet écologique

- Le Francis Crick Institute a obtenu la certification BREEAM Excellent et devrait utiliser un tiers moins d'énergie qu'un bâtiment conventionnel. Les stratégies de conception durable comprennent:
 - 18 300 pieds carrés de panneaux photovoltaïques sur le toit.
 - L'utilisation intensive du verre permet à la lumière naturelle de pénétrer dans le bâtiment et tous les luminaires sont énergétiques.
 - 25 000 capteurs contrôlant la chaleur, la lumière, la pression et l'humidité.
 - 99% des déchets et du sol enlevés pendant la construction ont été réutilisés ou recyclés.
 - Le bâtiment incorpore des toits bruns où les fleurs et les plantes sauvages peuvent pousser et chauve-souris des boîtes qui encouragent la faune.
 - Bien qu'il n'y ait pas de parking pour le personnel autre que les personnes handicapées, il y a 180 supports à vélo pour le personnel et des supports supplémentaires à l'extérieur pour les visiteurs.

IV.2 Programme du centre de recherche

Espace	Exigence	N°	Surface (m ²)	Totale (m ²)
Accueil				
<p>_ Cet espace occupera une place prépondérante dans l'équipement, sa lecture doit se faire directement de l'extérieur de telle façon que chaque personne puisse se repérer par son aspect.</p> <p>_ De ce fait, il doit être traité pour qu'il soit un lieu d'orientation, d'information, d'exposition, il sera aussi un espace de desserte des différentes composantes de l'équipement.</p>				
Hall d'exposition	_Le hall d'accueil doit être un lieu propice à la présentation de l'équipement, en créant une ambiance confortable et détendue.	1	A définir	A définir
L'administration				
<p>_ Espace ou se concentre les services chargés de veiller au bon fonctionnement du centre. L'administration ne devra pas être en relation directe avec les espaces fréquentés par les usagers et les utilisateurs.</p> <p>L'administration englobe :</p>				
bureau de directeur	<p>_ Le directeur est en communication avec tout service de l'établissement donc son bureau doit être facilement accessible.</p> <p>_Prévoir une isolation phonique.</p> <p>_Eclairage suffisant</p> <p>_Bonne isolation thermique et phonique</p> <p>_Des meubles de bon gout.</p>	1	20	20
bureau de secrétariat		1	15	15
bureau de comptabilité		1	20	20
bureau de relations extérieures		1	20	20
bureau de personnel		1	15	15
salle de réunion		1	12	12
Archives		Cette endroit n'a pas besoin d'un bon éclairage, ni d'aération donc en peut éliminer les fenêtres.	1	40
Sanitaire H/F	jusqu'à 10 employés, un WC et un urinoir pour les hommes et un WC pour les femmes.		A définir	A définir

Totale :				
142 m²				
L'unité de recherche et de documentation				
Bureau du conservateur de l'Unité de recherche	_Prévoir une isolation phonique. _Eclairage suffisant _Bonne isolation thermique et phonique _Des meubles de bon gout	1	30	30
Salle d'impression		1	30	30
Salle de projection	Cette endroit ne nécessite un bon éclairage	1	40	40
Salle d'Archive	Cette endroit n'a pas besoin d'un bon éclairage, ni d'aération donc en peut éliminer les fenêtres.	1	20	20
Salle de réunion	_Isolation acoustique _Isolation thermique	1	30	30
Magasin		1	40	40
Salle de formation	_Isolation acoustique _Isolation thermique	4	60	240
Salle de télé-enseignement	_Isolation acoustique _Isolation thermique	5	60	300
Salle de travail en groupe	_Prévoir une isolation phonique. _Eclairage suffisant _Bonne isolation thermique et phonique	4	20	80
Salle de travail individuelle	_Prévoir une isolation phonique. _Eclairage suffisant _Bonne isolation thermique et phonique	5	10	50
Salle de lecture	Près des murs extérieurs, à vitrages si possible anti-éblouissants, à proximité des rayonnages et loin des circulations principales	2	A	A
Rayonnage	(Longueur d'un rayonnage double :	1	A	A

bibliothèque	1 m, profondeur des étagères : 25 cm, hauteur normalisée des montants : 2,25 m.) Les entraxes et le nombre des étagères sont fonction de la surface disponible en question.		définir	définir
Salle des périodiques	Près des murs extérieurs, à vitrages si possible anti-éblouissants, à proximité des rayonnages et loin des circulations principales.	1	80	80
Salle de recherche informatisée	installer les postes de travail avec écran loin de la lumière du jour. La surface nécessaire est à différencier selon le type de poste de travail, c'est-à-dire il faut prévoir des postes de travail individuels, doubles et collectifs.	1	50	50
Salle des manuscrits	_ rayonnage fonctionnel _ un bon éclairage	1	50	50
Reluire et codification		1	20	20
Sanitaire H/F	_aération mécanique ou artificielle		A définir	A définir
Auditorium	Place nécessaire par auditeur selon forme du siège, profondeur du pupitre et déclivité du sol. Place nécessaire par étudiant dans une position confortable, 70 x 85 cm. normale 60 x 80 voire 55 x 75 cm. Par étudiant en comptant toutes les surfaces dans les grands amphithéâtres avec une marge étroite 0,62 m ² , dans les amphithéâtres plus petits avec une marge normale : 0,80-0,95 m ²	1	460	460
Totale :				
1520 m²				

Laboratoires de recherche				
Service d'instruments		1	20	20
Magasin (animalerie)	_ aération naturelle _ des armoires d'animalerie	1	40	40
Locaux d'équipements	_ des armoires de stockage _ armoire anti feu produits inflammables	1	30	30
Autoclave		1	20	20
Sanitaire H/F	aération mécanique ou artificielle		A définir	A définir
Gestion de laboratoire	Prévoir :	1	20	20
laboratoire de biologie végétale	_ Paillasse murale à dossier, équipée d'eau froide à deux endroits avec deux bénitiers, trois blocs de quatre prises de courants 220 v 10/16 ampères sur tableaux muraux,	2	60	120
Laboratoire de parasitologie	_ Les paillasses sont réalisées en éléments modulaires de 1,50 ou 2 m	1	60	60
Laboratoire de microbiologie	_ Paillasse centrale seche avec : (Etagère inférieure – Dossieret arrière –Bloc tiroir sous paillasse)	1	60	60
Laboratoire de bactériologie	_ LA SORBONNE (Il s'agit d'une hotte posée sur une paillasse et raccordée à un conduit de ventilation. Cet équipement permet de manipuler ou de stocker des produits dont les émanations peuvent être nocives.)	1	40	40
Laboratoire de biologie animale	_ La hauteur standard HT des Sorbonnes est d'environ 2,80m. Il faut prévoir, suivant leur localisation dans la pièce, un habillage jusqu'au plafond afin de cacher le conduit souple d'évacuation.	1	60	60
Laboratoire d'histologie	_ des armoires ventilées.	1	60	60
Laboratoire de simulation		1	60	60
Atelier		2	40	80

d'informatique				
Totale :				
670 m²				
Hébergement (100 personnes)				
Chambre individuelle	_Eviter les formes dynamiques à cause des sensations qu'elles donnent (mouvement dans l'espace) et pour des raisons du calme physique. _formes et volumes proportionnelles à l'échelle humaine. _isolation thermique assurée par le double vitrage. _isolation phonique. _aération naturelle. _éclairage adéquat.		A définir	A définir
Chambre double			A définir	A définir
Chambre groupe			A définir	A définir
Bloc sanitaire	prévoir dans chaque bloc sanitaire un écoulement d'eau au sol avec siphon anti-odeurs ainsi qu'un robinet de puisage avec tête amovible et raccord pour tuyau souple.		A définir	A définir
Bloc des douches			A définir	A définir
Bureau responsable hébergement		1	40	40
Laverie/ blanchisserie	env. 20 kg / lit (renouvelé. quotidien draps et serviettes) env. 12-15 kg / lit (4 renouvellements linge par semaine) env. 8-10 kg / lit (2-3 renouvellements par semaine)			
Totale :				

Locaux techniques et annexes				
Factotum		1	40	40
Stockage matériel	_Rayonnage fonctionnel _emplacement proche de l'accès		A définir	A définir
Circulation et distribution			A définir	A définir
Aménagement (parking (personnel, public))	_Les places de parking sont souvent délimitées devant et sur les côtés par des bandes de couleur (blanche ou jaune) d'une largeur de 12 à 20 cm. _Dimensions d'un emplacement en parapet pour une voiture particulière au moins 5,00 m de long et 2,30 m de large, et au moins 3,50 m de large pour un emplacement pour handicapés.		A définir	A définir
Espace de détente	Prévoir : _décoration dynamique et colorée _machine à café _des poufs et des petites tables basses		A définir	A définir
Cafeteria	Assurer : _bonne aération _Muni bien éclairé et visible partout _orientation est/ouest/sud Confort acoustique indispensable	2	100	200
Salle de télésurveillance	_ la salle de surveillance abrite le centre névralgique de sécurisation des locaux et du personnel. Cette véritable guérite de contrôle et réunit tous les éléments de visualisation de sécurité : écrans de monitoring, bandes de vidéos de sécurité, centrale d'alarme, serveurs, contrôle des accès, supervision générale, etc.	1	20	20
Jardin expérimentale			A définir	A définir
Totale :				
260 m²				

Tableau 5: tableau du programme retenu

IV.3 L'analyse du terrain

IV.3.1 Présentation

Le terrain se situe à proximité du nouveau pôle universitaire, il est d'une surface de 10971 m²

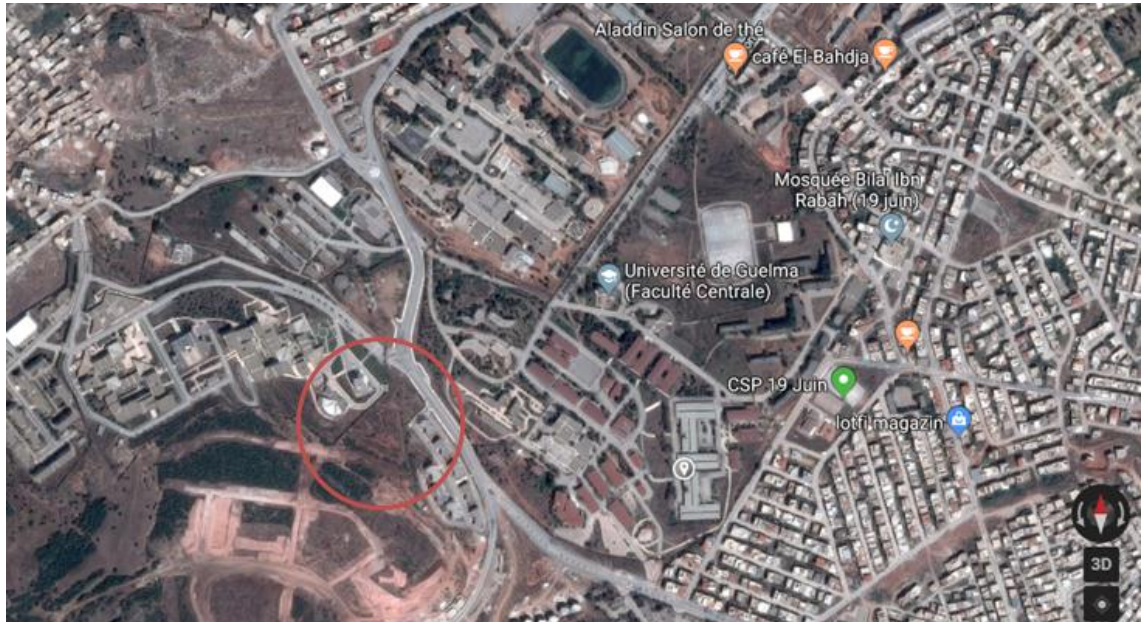


Figure 72: situation du terrain
Source : google Maps

IV.3.2 Les critères de choix du site:

Pour le choix du site, on s'est basé sur certains critères parmi eux :

- La facilité d'accessibilité au terrain.
- Les conditions climatiques les plus favorables (ensoleillement, vent, température...).
- Une surface importante du terrain.
- La présence du réseau de voiries.
- Une grande superficie pour profiter de grands champs d'essais.
- Une visibilité appréciable et une accessibilité au site.
- Se trouve dans un milieu universitaire.

IV.3.3 Limites du terrain

Le terrain est limité par :

- **Le nouveau pôle universitaire à l'Ouest**

- Les logements de fonction à l'Est
- Une voie mécanique au Nord
- Un terrain vierge au Sud

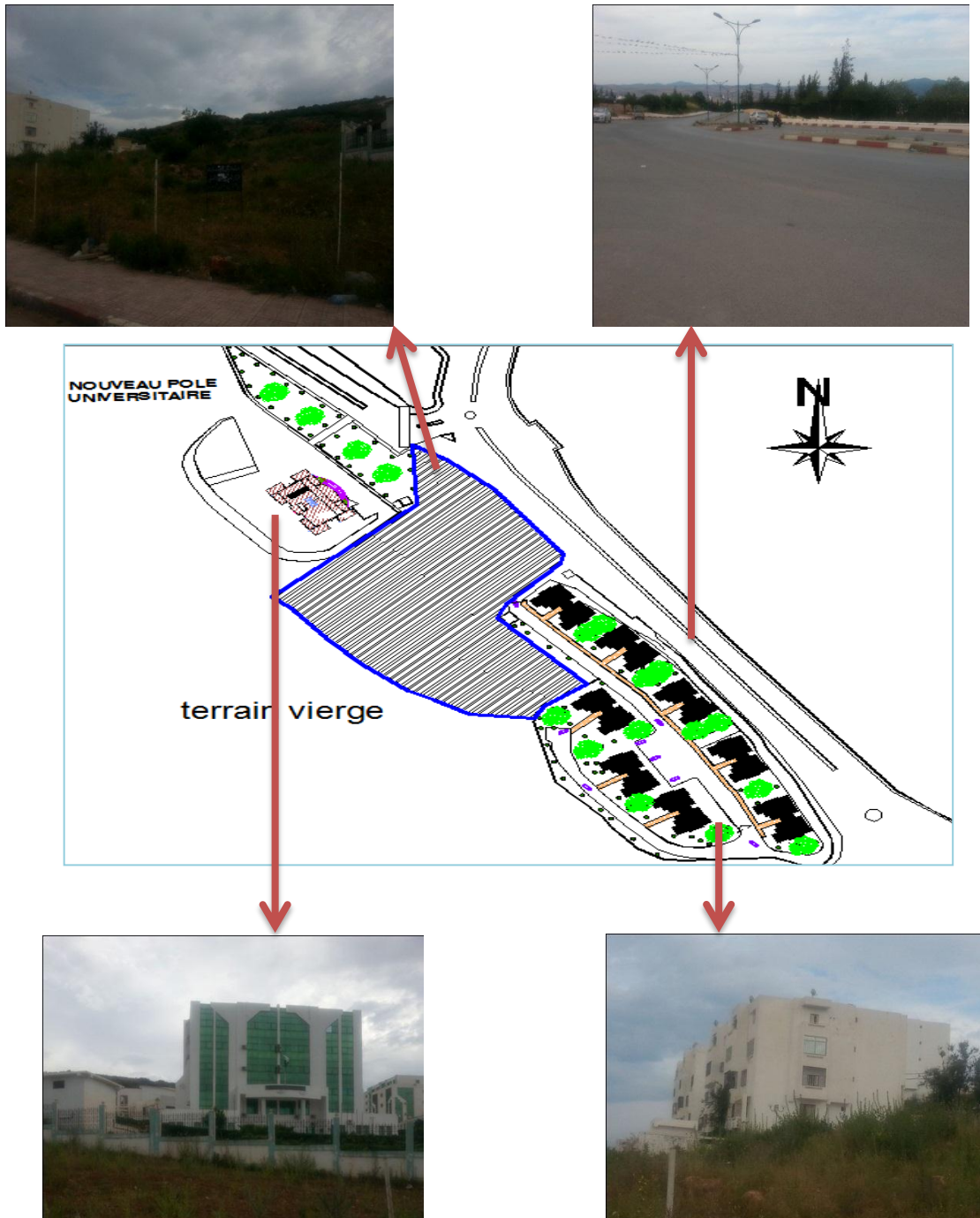


Figure 73: limites du terrain
Source : auteur

IV.3.4 La topographie du terrain

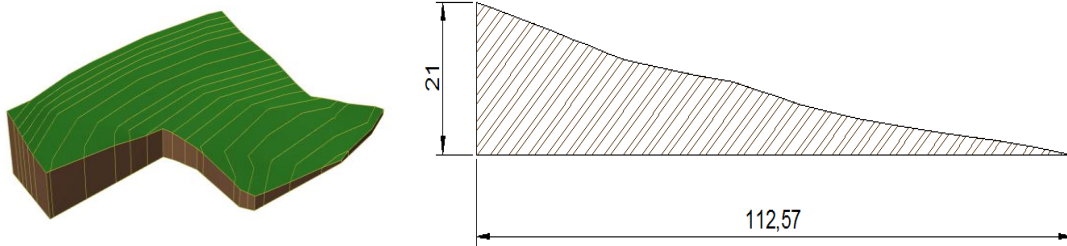


Figure74:la topographie du terrain
Source : auteur

- ✓ Le terrain présente une pente de 17 %, cette topographie lui offre une bonne visibilité.

IV.3.5 L'accessibilité

Le terrain est accessible par une seule voie mécanique.

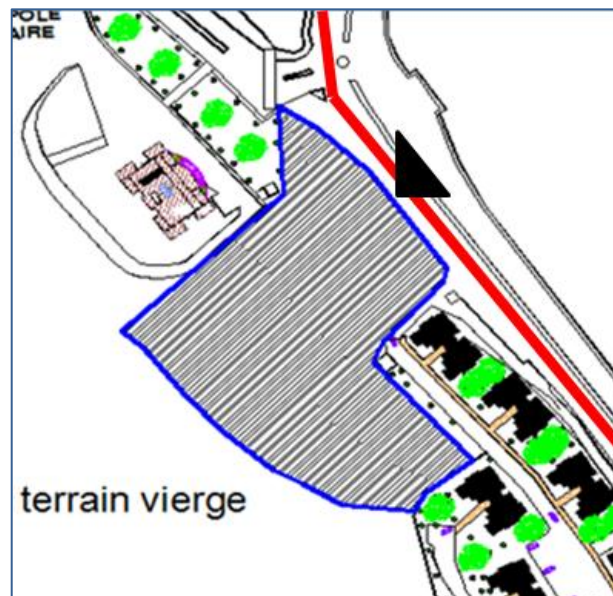


Figure75: accessibilité au terrain
Source : auteur

IV.3.6 Les données climatiques du terrain

- ✓ Le terrain profite d'un bon ensoleillement
- ✓ Les vents dominants froid; arrivent : du coté nord ; nord-ouest
- ✓ Les vents dominants chaud; arrivent du coté sud ; sud-est

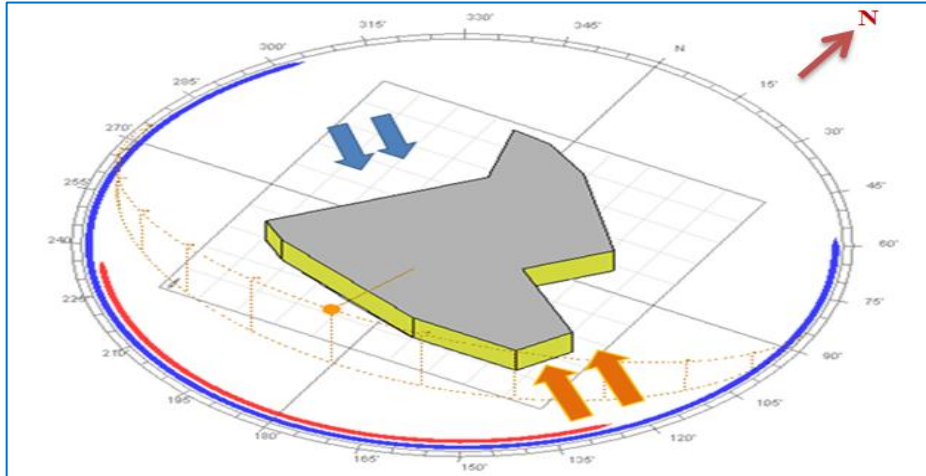


Figure76: les données climatiques du terrain
Source : auteur

IV.4 Mise en forme du projet

IV.4.1 La 1 ère étape : les axes du terrain

Ce sont les axes majeurs à partir duquel qu'on aura une vue globale du Projet.

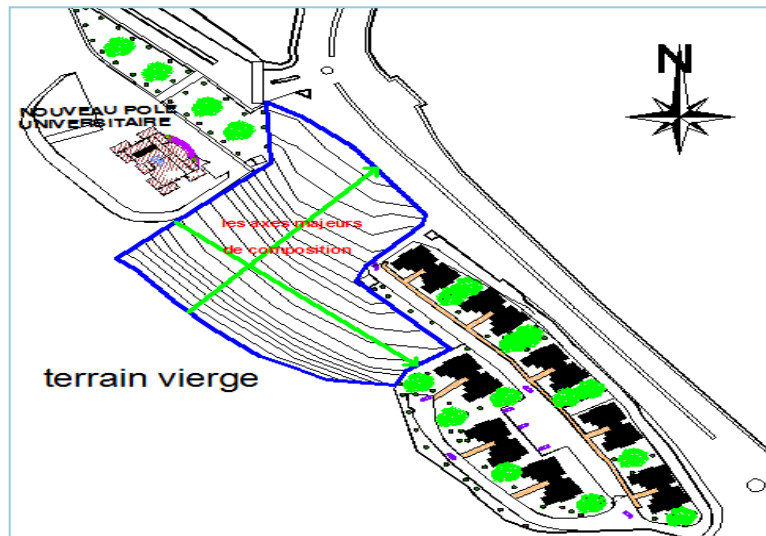


Figure 77 : les axes majeurs du terrain
Source : auteur

IV.4.2 La 2ème étape : les alternatives de composition

La masse bâtie du projet : est implantée dans le milieu du terrain sur les axes majeurs de composition.

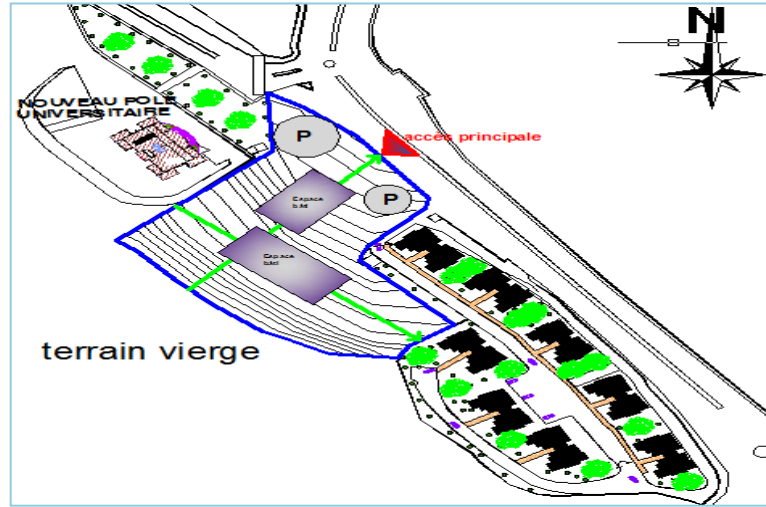


Figure 78: la masse du projet
Source : auteur

IV.4.3 La 3ème étape : l'organisation spatiale (Zoning)

L'organisation spatiale des fonctions se fait selon la priorité et la relation fonctionnelle entre elles.

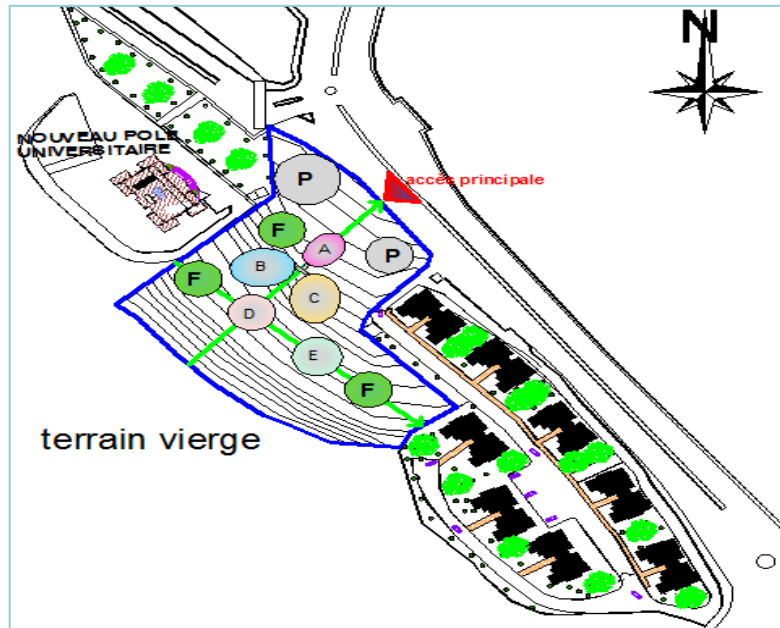


Figure 79: Le zoning
Source : auteur

Entité –A-: c'est la partie principale qui regroupe l'accueil des étudiants et chercheurs ainsi que l'administration du centre

Entité –B-: c'est l'auditorium.

Entité –C-: est l'unité de recherche et de documentation.

Entité –D-: est le bloc de laboratoire de recherches en biologie.

Entité –E-: est le bloc d'hébergement pour chercheurs et étudiant résidents.

IV.4.5 La 4^{ème} étape : la forme

La forme du projet est inspirée de l'anticorps qui est une molécule biologique impliquée dans l'immunité. Leur rôle est de reconnaître un antigène étranger afin de le neutraliser. Donc on a opté pour une forme qui dicte et symbolise le lien entre le projet (centre de recherche en biologie) et la biologie et qui permet la communication et l'harmonisation du projet avec son milieu naturel, et qui assure: La flexibilité et le mouvement exprimés par sa forme courbe.

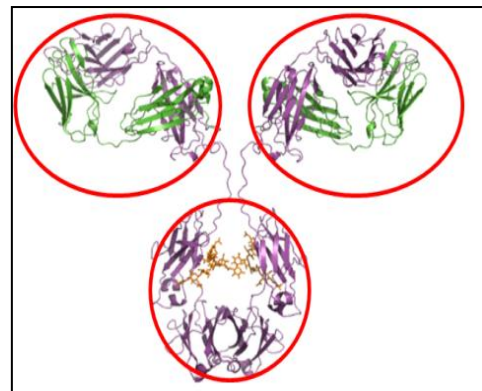
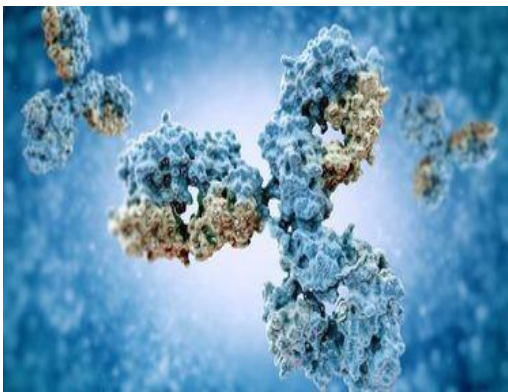


Figure 80 l'anticorps

Source : <https://www.futura-sciences.com>

IV.4.6 La 5^{ème} étape : schéma de principe

Au sein du centre, un aménagement intérieur a été préconisé, dans le but de créer une liaison entre tous les espaces. Les orientations d'aménagements se présentent par l'implantation des espaces d'expérimentation (laboratoire d'écologie et de biologie végétale), de loisirs et de promenades, autour de l'établissement.

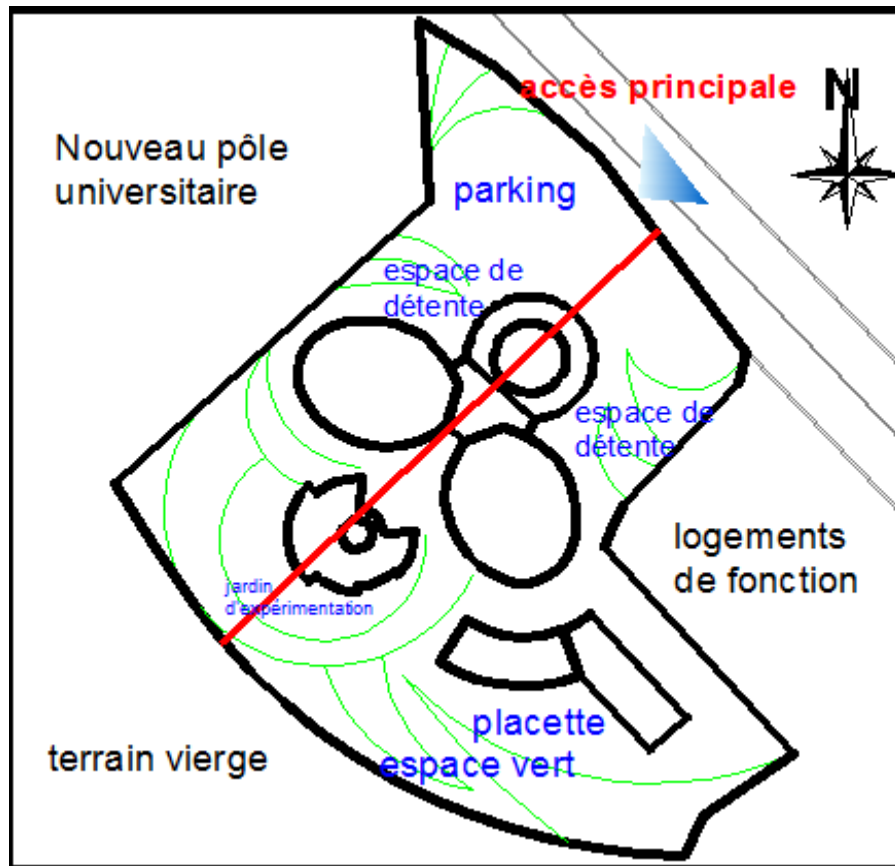


Figure 81 : schéma de principe

Source : auteur

Conclusion

Les différentes étapes de l'analyse des exemples, l'analyse du terrain et la programmation nous ont apporté des informations et des contraintes qui vont nous aider dans l'étape suivante qui est la conception du projet.

L'analyse des exemples nous a permis de définir les différents entités et espaces que se trouvent dans un centre de recherche.

Pour le projet l'analyse climatique va nous aider non seulement pour l'orientation de notre espace bâtie, mais aussi pour le fonctionnement de ce dernier, et la répartition de chaque entité selon les conditions qu'elle exige.

Conclusion générale

Conclusion

Avec le développement incessant des exigences du confort hygrothermique dans les bâtiments, les solutions actives fortes consommateurs d'énergie ont occupé une grande place dans la conception architecturale et elles sont devenues la clé de résolution des problèmes d'inconfort.

Le territoire Guelmi, dont le climat est caractérisé par hivers plus froids et des étés chauds, le problème d'inconfort engendré par les rayonnements solaire direct et les basses températures et la problématique d'utilisation irrationnelle de l'énergie pour le refroidissement ou le chauffage devient, donc, un vrai souci.

Les bâtiments éducatifs sont d'une importance vitale vu le rôle important qu'ils remplissent au sein de la société. De ce fait, un confort satisfaisant doit être assuré pour pouvoir se concentrer sur l'étude et accomplir ses tâches. Ainsi, face aux répercussions négatives que porte un environnement hygrothermique insatisfaisant sur les capacités d'apprentissage, la qualité hygrothermique doit être considérée minutieusement. Sa prise en compte dans des phases initiales de la conception aide à surmonter le problème des rajouts artificiels dans les bâtiments.

Cependant le souci de construire rapidement et en grande quantité a conduit à la standardisation des conditions thermiques Ceci a pour conséquence une grande consommation d'électricité et d'énergies fossiles pour résoudre les problèmes d'inconfort en hiver qu'en été à l'intérieur des bâtiments.

Par conséquent, le recours aux procédés passifs s'avère nécessaire pour pallier aux surcoûts de l'utilisation de l'énergie pour améliorer les conditions de confort des usagers. En fait, parmi les systèmes passifs procurant un tel effet se trouve la végétation, reconnue pour ses bienfaits de rafraîchissement et d'isolation dans différents climats.

Telle une seconde peau, la végétation peut contrôler les apports de chaleur extérieurs et réguler les températures intérieures sans aide d'équipement. Par un choix judicieux de la typologie, elles constituent un élément acteur du confort hygrothermique en été en évitant les surchauffes comme en hiver en jouant un rôle d'isolant.

La présente recherche avait comme but principal d'évaluer et de mesurer l'impact de la l'enveloppe végétale au niveau des bâtiments d'enseignement supérieur sur le confort

hygrothermique des étudiants sous des conditions du climat de Guelma. Pour ce faire et afin d'atteindre nos objectifs, une recherche théorique a été entretenue, en premier lieu, dans le but de comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec le sujet de recherche contribuant ainsi à la canalisation de la présente étude vers les objectifs ciblés.

D'abord, Le confort hygrothermique, de plus en plus, prouve une importance capitale. Dans les bâtiments éducatifs, il participe à la création d'un environnement éducatif favorable contribuant, ainsi, à atteindre des niveaux élevés de la performance d'apprendre et d'étudier. D'ailleurs ce confort est lié principalement à la qualité et le degré d'exposition de l'enveloppe du bâtiment aux conditions du climat extérieur. Donc notre objectif était de vérifier l'efficacité de l'enveloppe végétale dans l'amélioration du confort intérieur des bâtiments d'enseignement supérieur dans le cas de Guelma.

Et pour ce faire, afin d'atteindre cet objectif, une simulation numérique sur un cas réel de bâtiment éducatif (département d'architecture), situé à Guelma a été entamée.

Par ailleurs, nous avons pu constater une différence perceptible après l'intégration de l'écran végétal sur la façade sud de l'équipement : une baisse de la température ambiante dans la pièce ciblée.

Les résultats démontrés dans l'investigation nous confirment bien l'influence de la végétation sur l'amélioration du microclimat intérieur, se traduisant par l'ombrage permanent du végétal sur les surfaces verticales évitant ainsi leurs surchauffes.

Recommandations

L'ombrage naturel de la végétation doit de préférence être plus important en été qu'en hiver, afin de profiter des apports d'énergie solaire hivernaux. Pour des climats tempérés, il est donc conseillé d'opter pour des plantations à feuilles caduques, avec peu de branches, pour avoir un ombrage minimal en hiver, mais un feuillage dense, pour la raison inverse en été. Les protections végétales réalisées à l'aide de plantes grimpantes (vigne vierge, chèvrefeuille, glycine) peuvent aussi être très efficaces et être aménagées sur les parois verticales pour réduire leur échauffement. Rappelons que la densité des plantes caduques, change d'une saison à une autre.

Pour éviter toute colonisation sauvage désordonnée, des interventions régulières de domestication de leur développement, permettront un meilleur résultat esthétique.

De plus, la végétation joue un rôle d'enveloppe thermique complémentaire lorsqu'elle est implantée sur une paroi horizontale (toiture végétalisée). Pour de meilleurs résultats, Leur application doit être adéquate pour offrir un intérêt significatif dans la régulation des ambiances en hiver comme en été.

Références Bibliographiques

Livres :

- GAUZIN-MULLER. Dominique, *L'architecture écologique*. Paris : Ed Le Moniteur, Novembre 2002 p 270
- De Herde André, Liébard Alain, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Éditions du Moniteur, Paris, France, 2005. P : 16
- GIVONI Baruch, *L'homme, l'architecture et le climat*. Editions du Moniteur ; Paris, 1978. p : 84
- Fernandez, P, et Lavigne, P. « Changement d'attitude pour concevoir un cadre bâti bioclimatique : une contribution au développement durable, Techniques de construction », CTQ 013, .éditions du moniteur, 2010.
- **BEYNON. J**, (1998), *Installations et bâtiments éducatifs : ce que les planificateurs doivent - savoir*, UNESCO.
- CORGNATI. S-P, FILIPPI. M, VIAZZO. S, (2007), *Perception of the thermal environment in high school and university classrooms : Subjective preferences and thermal comfort*, *Building and Environment* N°42.
- **ABDELATIA. B, MARENNE. C, SEMIDOR. C**, (2010), *Daylighting Strategy for Sustainable Schools : Case Study of Prototype Classrooms in Libya*, *Journal of Sustainable Development*, Vol. 3, N° 3.
- **WONG. N-H, KHOO. S-S**, (2003), *Thermal comfort in classrooms in the tropics*, *Energy and Buildings* N°35.
- **ZAIYIL et JINYEU.T** : *"Impacts of Greenbelts on the Thermal Environment of Residential Communities"*.The First Conference on Architectural Design and Technology for Sub-Tropical Climates., Chine, 1998.

Références Bibliographiques

- **CANTUARIA.G** : “A comparative study of the thermal performance of vegetation on building surfaces”.PLEA: Architecture, City, Environment, Cambridge, UK, pp312-313. 2000.
- **QIAN.Z.M** : “An Investigation to the Cooling and Moisturizing Effects of Creepers on the Surrounding Area”, Researches on the Green Effects, Chinese Environmental Science Press, Bekin, 1995.
- In **GIVONI.B** : “Climate considerations in building and urban design” Van Nostrand Reinhold, New-York, 1998. p316-317.
- **WONG. N.H, TAN. P.Y et CHEN. Y** : « Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate » Building and Environment, Volume 42, Issue 1, 2006. p 25-54

Mémoires et thèses :

- **LABRECHE, S.** « Forme architecturale et confort hygrothermique dans les bâtiments éducatifs, cas des infrastructures d’enseignement supérieur en régions arides » thèse de magistère université de Biskra.
- **M’SALLEM, H** « Le confort thermique entre perception et évaluation Par les techniques d’analyse bioclimatique Cas des lieux de travail à Biskra. » thèse de magistère université de Biskra.
- **MAZARI, M** « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d’Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou) » thèse de magistère université de Tizi-Ouzou.
- **MOUJALLED, B** « Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés » thèse de doctorat, L’Institut des Sciences Appliquées de Lyon.
- **Cordier, N.** « développement et évaluation de stratégies de locaux de grandes dimensions », thèse de doctorat 2007, p 321
- **MBOUP. M,** (2003), Evaluation des acquis scolaires, Mémoire DEA en Sciences d’Education, Université Cheikh Anta Diop, Dakar
- **DJEDJIG, R** « Impacts des enveloppes végétales à l’interface bâtiment microclimat urbain » thèse de doctorat, université de LA Rochelle

Références Bibliographiques

- **Sébastien Jacquet**, à l'école de technologie supérieur Montréal « performance énergétique d'une toiture végétale au centre-ville de Montréal
- **BENHALILOU, K** « IMPACT DE LA VEGETATION GRIMPANTE SUR LE CONFORT HYGROTHERMIQUE ESTIVAL DU BATIMENT » mémoire de magistère 2008, université de Constantine.
- **DI.H.F et WANG.D.N:** “*Cooling effect of ivy on a wall*” Experimental Heat Transfer. Vol. 12, no.3, pp235-345. Tsinghua University, Chine, 1999.
- **SANDIFER.S, GIVONI.B:** “*Thermal effects of vines on wall temperatures-comparing laboratory and field collected data*” UCLA -University of California at Los Angeles, 2002.

Sites internet :

- Dictionnaire **LAROUSSE**
- **DURKHEIM.E**,(1922), Education et Sociologie, https://www.puf.com/content/%C3%89ducation_et_sociologie .
- L'encyclopédie HACHETTE
- <https://www.ecohabitation.com>
- <https://www.picbleu.fr/page/toitures-vegetalisees-habitat-avantages-inconvenients>
- <http://magazine.thomas-piron.eu/votre-habitation/ces-jardins-qui-grimpent-aux-murs/>
- <https://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/>
- <https://www.futura-sciences.com/>
- <https://educalingo.com/fr/dic-fr/>
- **LAM.M et al** : « *Résumé d'une étude de cas- Végétation sur la façade des constructions : -Bioshader-* »-Centre for Sustainability of the Built Environment university of Brighton, 2004. www.durabuild.org
- <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001355/135528f.pdf>
- <http://logiciels.i3er.org/ecotect.htm>
- <https://www2.mrc-lmb.cam.ac.uk/>
- <https://www.crick.ac.uk/>

Articles :

- « la végétalisation des bâtiments » Med Bouattour, Fuchs Alain, PARIS 2009
- **MEIER.A. K** : “*Strategic Landscaping and Air Conditioning Savings: A Literature Review*”, Energy and Buildings, vol. 15-16, 1990-1991. pp. 479- 486
- **LIU. K.Y et BASKARAN.A** : « *Des toitures jardins pour une meilleure durabilité des enveloppes des bâtiments* » solution constructive n° 65, sept. 2005.
- **BASS.B, BASKARAN.B**: “*Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*”, Canada, 2001.
- **NIACHOU. A** : « *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance* ». Energy and Buildings, vol 33, 2001. pp.719-729.
- **PECK.S, CALLAGHAN.C** : « *Greenbacks from Green Roofs: forging a new industry in Canada* ». Prepared for Canada Mortgage and Housing Corporation. Canada. 1999
- « Publications de l’UNESCO pour le Sommet mondial sur la société de l’information » Guttman 2003
- « Qualités d'usage des bâtiments et contraintes énergétique : synergie ou antagonisme? »Roulet 2004.