



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTÉ : DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par :

M^{lle} Imane BENLARIA.

**DOMAINE : ARCHITECTURE ET URBANISME ET METIERS DE LA
VILLE**

FILIERE : ARCHITECTURE

OPTION : Architecture et environnement

Thème

**Conception d'un laboratoire de recherche en architecture
et en génie civil à caractère environnemental, à Laghouat.**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. Aboubakeur BOUKHELKHAL	M.C.B	Président
Mlle. Saida BAALI	M.A.A	Examinatrice
Mr. Lakhdar MEZAOUEKH.	M.A.A	Examineur
Mr. Abderrazak BENCHEIKH	M.A. A	Rapporteur

Promotion : juin 2019.

Remerciements

Je remercie profondément monsieur Abderrazak BENCHEIKH, maitre-assistant A à l'université Amar Thelidji de Laghouat, pour ses précieux enseignements et orientations durant l'année, de m'avoir honorée en acceptant de m'encadrer et structurer ce travail ainsi que sa contribution inestimable à le mettre à terme.

Je tiens à remercier monsieur. Aboubakeur BOUKHELKHAL, maître de conférence B à l'université Amar Thelidji d'avoir accepté la présidence du jury, j'exprime également ma gratitude à mademoiselle Saida BAALI, et monsieur. Lakhdar MEZAOUER, maîtres-assistants A à l'université Amar Thelidji, d'avoir acceptés d'examiner ce travail.

Je voudrais remercier également tous ceux qui m'ont aidé et soutenu tout le long de ce travail.

Dédicace

À mes parents, soleil de ma vie.

À ma très chère grand-mère

À tous ceux qui me sont chers.

Imane.

ملخص

يمثل تغير المناخ تهديدًا كبيرًا للبيئة، واستخدام التنمية المستدامة هو إجراء ضروري للحد من المشكلات البيئية مثل التلوث و الاحتباس الحراري و ما يترتب عنهما، حيث تمس هذه الخطوة عدة مجالات، من بينها مجال البناء، الذي يواجه الآن تحديًا كبيرًا ، وهو تصميم المباني المستدامة بيئيًا مع ضمان راحة مستعمليها. الغرض من هذا العمل هو تصميم مختبر بحث علمي في الهندسة المعمارية والهندسة المدنية في مدينة الأغواط، بناءً على أسس الهندسة المعمارية المستدامة ، بحيث يأخذ هذا التخصص في عين الاعتبار العناصر المؤثرة للمنطقة (مورفولوجيا الأرضية ، المباني المجاورة بالإضافة إلى العناصر المعمارية في المنطقة) ، المناخ (نوع المناخ ، درجات الحرارة ، فترة الصيف والشتاء ، الرياح السائدة ، ... إلخ) ، والأنشطة المختلفة للمشروع ، لضمان حسن سيرها و راحة المستخدم مع استهلاك أقل للطاقة. يعد مختبر الأبحاث العلمية جزءًا أساسيًا من الجامعة من حيث البحث والتطوير والتكوين العلمي و المعرفي. الغرض من هذا العمل هو تصميم مختبر أبحاث بيئي، والذي يتطلب دراسة جيدة للموضوع والسياق، استنادًا إلى المحاكاة الرقمية بواسطة برنامجي EnergyPlus و Ecotect لتقييم درجة الراحة الحرارية والبصرية للمشروع، من أجل إيجاد الحلول اللازمة للتصميم المستدام للمشروع.

الكلمات المفتاحية: التصميم المستدام، البناء البيئي ، مختبر الأبحاث العلمية ، الهندسة المعمارية والهندسة المدنية ،مدينة الأغواط ، الراحة الحرارية الراحة البصرية.

Résumé :

Le changement climatique est un danger majeur qui touche l'environnement, le recours au développement durable est un acte indispensable pour se protéger et limiter les problèmes liés à l'environnement comme la pollution et l'effet de serre, cette démarche touche plusieurs domaines, parmi lesquelles, celui du bâtiment, qui porte maintenant un défi majeur, celui de concevoir des constructions à caractère environnemental durable tout en assurant le confort des occupants. L'objet de ce travail est de concevoir un laboratoire de recherche en architecture et en génie civil dans la ville de Laghouat, basé sur les fondements de l'architecture durable, cette discipline prend en considération les éléments du site (sa morphologie, les voisinages, ainsi que les éléments architectoniques de la région), du climat (le type du climat, les températures, la période estivale et hivernal, les vents dominant, ...etc.), et des différentes activités du projet, pour assurer leur bon déroulement et le confort de l'utilisateur en consommant moins d'énergie.

Un laboratoire de recherche est une composante fondamentale de l'université tant sur le plan de la recherche et du développement que sur la formation. L'objet de ce travail est de concevoir un laboratoire de recherche à caractère environnemental, ce qui exige une bonne étude de la thématique, et du contexte, en se basant sur des simulations numériques par les logiciels EnergyPlus et Ecotect pour évaluer le degré de confort thermique et visuel au sein du projet, afin de trouver les solutions nécessaires à la conception durable du projet.

Mots clés : Conception durable, construction à caractère environnemental, laboratoire de recherche scientifique, architecture et génie civil, ville de Laghouat, confort thermique, confort visuel.

Abstract:

Climate changes are a major threat for the environment, the use of sustainable development is an essential act to protect the environment and limit the problems that can damage it, such as the pollution and the greenhouse effect, this in turn affects several fields, among which, the building sector, which now has a major challenge, to achieve the environmental sustainability for buildings while ensuring the comfort of the occupants. The purpose of this work is to design a research laboratory in architecture and civil engineering in the university of Laghouat, based on the foundations of sustainable architecture, this discipline takes into consideration the elements of the site (its morphology, neighborhoods, as well as the architectural elements of the region), the climate (the type of climate, the temperatures, the summer and winter period, the prevailing winds, ... etc.), and the different activities of the project, to ensure their good proceedings and the comfort of the user by consuming less energy.

A research laboratory is a fundamental part of the university both in terms of research and development and formation. The purpose of this work is to design an environmental research laboratory, which requires a good study of the theme, and context, based on numerical simulations by EnergyPlus and Ecotect software to assess the degree of thermal and visual comfort of the project, in order to find the necessary solutions for the sustainable design of the project.

Key words: Sustainable design, environmental construction, scientific research laboratory, architecture and civil engineering, Laghouat city, thermal comfort visual comfort.

Table des matières

ملخص	III
Résumé :	IV
Abstract:	V
Table des matières	VI
Liste des figures :	XIII
Liste des tableaux	XIX
Introduction générale	1
Problématique	1
Hypothèses	2
Objectifs :	3
Méthodologie	3
Chapitre I : Étude thématique	4
Introduction.....	5
I. Définitions des concepts	5
I.1 Développement Durable.....	5
I.2 Climat aride :	5
I.3 Climat semi-aride :	5
I.4 L'architecture bioclimatique et le respect de l'environnement :	5
I.5 L'architecture verte :	6
I.6 Confort thermique :	6
I.7 Ventilation :	6
I.8 L'éclairage :	7
I.9 HQE :	7
I.9.1 Les 14 cibles de la HQE:	7
I.9.1.1 ECO-CONSTRUCTION.....	7
I.9.1.2 ECO-GESTION.....	7
I.9.1.3 CONFORT	8

I.9.1.4	SANTE	8
I.10	La recherche scientifique :	8
I.11	Laboratoire de recherche :	8
I.12	Laboratoire de recherche en architecture et en génie civil :	8
II.	Analyse des exemples	9
II.1	1 ^{er} exemple: Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects	9
II.1.1	Fiche technique :	9
II.1.2	Situation du projet :	9
II.1.3	Plan de masse :	10
II.1.4	Les façades :	10
II.1.5	Les plans :	13
II.1.6	La circulation :	14
II.1.7	Aspect de durabilité de projet :	15
II.2	2ème exemple : Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S	16
II.2.1	Fiche technique :	16
II.2.2	La situation	16
II.2.3	Plan de masse	16
II.2.4	Les façades :	18
II.2.5	Les plans :	20
II.2.6	La circulation :	21
II.2.7	Aspects de durabilité de projet :	22
II.3	3ème exemple : Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET	24
II.3.1	Fiche technique	24
II.3.2	Situation du projet	24
II.3.3	Plan de masse :	25
II.3.4	Les façades :	25
II.3.5	Les plans :	27
II.3.6	Circulation :	28
II.3.7	Aspects de durabilité du projet :	29

Synthèse :	31
Conclusion	31
Chapitre II : Étude contextuelle.....	32
Introduction :	33
I. Échelle territoriale.....	33
I.1 Présentation de Laghouat :	33
I.1.1 Présentation climatique de ville de Laghouat :	34
I.1.2 Le climat lumineux de Laghouat :	35
I.1.3 La température :	35
I.1.4 Le diagramme de Givoni :	36
I.1.5 Humidité :	36
I.1.6 La précipitation :	37
I.1.7 Les Vents :	37
II. Échelle urbaine :	38
II.1 Evolution urbaine de la ville de Laghouat :	38
II.2 La typologie architecturale de la ville de Laghouat :	38
II.3 Les éléments architectoniques de la ville de Laghouat :	39
II.4 Les atouts de la ville de Laghouat :	39
III. Echelle locale	40
III.1 Situation du site par rapport à la ville :	40
III.2 Les potentialités du site :	40
III.2.1 Accessibilité	41
III.2.2 Les voisinages	41
III.2.3 La forme de l'assiette	42
III.2.4 Typologie et climatologie du terrain d'intervention	42
Synthèse :	43
Chapitre III : Étude programmatique.	45
Introduction.....	46
I. Principe de programmation adopté dans notre travail	46

II. Analyse des besoins.....	47
III. Le programme proposé :	48
III.1 Programme qualitatif :.....	48
III.1.1 Accueil	48
III.1.2 L'entité administrative :	48
III.1.3 Entité d'animation et diffusion :	49
III.2 Programme quantitatif.....	50
Synthèse :.....	51
Chapitre IV : Étude architecturale.....	53
Introduction :.....	54
I. L'état du lieu :.....	54
II. Genèse du projet :	55
III. L'idée du projet :.....	58
IV. Aménagement extérieure : plan de masse	63
IV.1 Principe du plan de masse	63
IV.2 Description du plan de masse :.....	63
IV.3 Traitement du volume :	64
IV.3.1 Description générale du volume :.....	64
IV.3.2 Les façades :.....	65
IV.3.2.1 Façade est :.....	65
IV.3.2.2 Façade ouest :.....	66
IV.3.2.3 Façade nord :.....	67
IV.3.2.4 Façade sud :.....	67
IV.3.3 Le patio :.....	68
IV.3.4 La terrasse	69
IV.3.5 Vues proches sur le projet :.....	69
V. Etude Technique.	75
V.1 Le système constructif utilisé :.....	75
V.2 Matériaux à caractères environnementaux	75
V.2.1 Le bois	75

V.2.2	Le polystyrène extrudé	76
V.3	Murs rideaux :	76
V.4	Protection solaire :	77
V.5	Plans d'eau :	78
V.6	Panneaux photo voltaïques :	78
V.7	L'éclairage artificiel utilisé dans le projet :	79
V.8	Cellules photos voltaïques translucides :	80
V.9	Vitrage intelligent :	82
V.10	Les caractères envirenmenteaux :	83
V.10.1	Toiture végétalisée :	83
V.10.2	L'éclairage zénithal :	83
V.10.3	La serre :	84
SYNTHESE :		84
Chapitre V	: Évaluation du confort.....	85
Introduction.....		86
Problématique :		86
Les Objectifs :		86
Hypothèses :		87
Méthodologie de recherche :		87
I. LE CONFORT THERMIQUE : étude et évaluation.....		88
I.1	Introduction au confort thermique.....	88
I.1.1	Le confort d'hiver.....	88
I.1.2	Le confort d'été	88
I.1.3	La qualité de l'air	88
I.1.4	Les éléments naturels du climat	89
I.1.4.1	Le parcours solaire	89
I.1.4.2	Le rayonnement solaire.....	89
I.1.4.3	Les conditions du ciel	89
I.1.4.4	La température.....	89
I.1.4.5	L'humidité.....	89

I.1.4.6	Les précipitations	91
I.1.4.7	Les vents	91
I.1.5	Outil d'analyse :	92
I.1.6	Présentation de logiciel de simulation : "ENERGYPLUS"	92
I.2	Evaluation du confort thermique :	93
I.2.1	Présentation de l'espace étudié :	94
I.2.1.1	Plan de masse :	94
I.2.1.2	Choix de l'espace :	95
	Les températures recommandées dans la norme :	95
I.2.1.3	Description géométrique de l'espace :	95
I.2.2	Les paramètres de la simulation :	96
I.2.3	Cas initial :	96
I.2.3.1	La période estivale :	96
I.2.3.1.1	Résultat de simulation cas initial d'été : (14 juillet) :	96
I.2.3.1.2	Interprétation des résultats :	97
I.2.3.2	La période hivernale :	97
I.2.3.2.1	Résultat de simulation cas initial d'hiver : (15 janvier) :	97
I.2.3.2.2	Interprétation des résultats :	97
I.2.4	Cas amélioré : laboratoire	97
I.2.4.1	La période estivale : cas d'été	97
I.2.4.1.1	Résultat de simulation cas amélioré d'été :	98
I.2.4.1.2	Interprétation des résultats :	99
I.2.4.2	La période hivernale : cas d'hiver.....	100
I.2.4.2.1	Résultat de simulation cas amélioré d'hiver :	101
I.2.4.2.2	Interprétation des résultats :	102
	Synthèse :	102
	Conclusion :	103
II.	LE CONFORT VISUEL : étude et évaluation	104
II.1	Introduction au confort visuel :	104
II.1.1	Les paramètres du confort visuel	104
II.1.2	Définition de l'éclairage naturel.....	105

II.1.3	Définition de l’ambiance lumineuse dans la norme EN 12464-1 : 2011 « Éclairage des lieux de travail intérieurs »	105
II.1.4	Facteur de lumière du jour (FLJ).....	105
II.2	Evaluation du confort visuel : simulation avec le logiciel Ecotect.	106
II.2.1	Présentation de Ecotect :	106
II.2.1.1	Avantages :	106
II.2.1.2	Faiblesses :.....	106
II.2.2	La modélisation du laboratoire d’architecture par Ecotect :	107
II.2.3	Cas d’étude :	107
II.2.4	La simulation est faite pour 21 juin avec ciel dégagé à midi :	108
II.2.5	Résultats de simulation :	108
II.2.5.1	Cas initial été :	108
II.2.5.2	Cas amélioré été :	109
Conclusion :		110
Conclusion générale :		111
Bibliographie		112

Liste des figures :

Figure 1 : structure du mémoire ; source : l’auteur.	3
Figure 2 : façade nord du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects).....	9
Figure 3 : plan de situation du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects	9
Figure 4 : plan de masse du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects	10
Figure 5:Façade principale du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects. (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)	11
Figure 6 : façade Sud.....	12
Figure 7 : façade est.	12
Figure 8 : façade ouest.	12
Figure 9:façades de projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects.	12
Figure 10: Plan du RDC	13
Figure 11: Plan étage.....	13
Figure 12:Circulation au plan du RDC.	14
Figure 13: Circulation à l’étage.....	14
Figure 14 : Façade nord. (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)	15
Figure 15 : système de récupération des eaux pluviales. (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)	15
Figure 16 : deuxième exemple Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S/S</i>	16
Figure 17 : Plan de situation. (Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S / S</i>)	16
Figure 18 : plan de masse. (Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S / S</i>).....	17
Figure 19 : bloc des laboratoires de recherche. (Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S / S</i>)..	17
Figure 20 : délimitation du bloc étudié. (Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S / S</i>).	18
Figure 21 : façade nord du laboratoire de Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S / S</i> . (Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S / S</i>)	19
Figure 22Plan RDC.	20
Figure 23 : Plan étage.....	20
Figure 24 : plans du rdc et étage montrant les types de circulation.	21
Figure 25 : coupe. (Campus da <i>Fiocruz Ceará / Architectus S / S</i>).....	22

Figure 26 : photo de l'intérieur du bâtiment avec système de contrôle de la température et de l'éclairage. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S).....	23
Figure 27 : schéma de la toiture végétalisée. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)	23
Figure 28 : Protection solaire. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S).....	23
Figure 29 : côté ouest du projet ; source : the American Institute of architects.....	24
Figure 30 : plan de situation du CANMET materials technology laboratory ;source :google earth	24
Figure 31 : plan de masse du CANMET materials technology laboratory; source: the American Institute of architects	25
Figure 32 : Façade ouest; source : : the American Institute of architects	26
Figure 33 : façade est ;source :google earth.....	26
Figure 34 : façade sud ; source : google earth.....	26
Figure 35 : les plans de (RDC, ETAGE1, ETAGE2) dans l'ordre ; source : the American Institute of architects	27
Figure 36 : circulation horizontale et verticale des niveaux (the American institute of architects)	28
Figure 37 : Mur solaire et capteurs solaires thermiques ; source : the American Institute of architects (the American institute of architects).....	29
Figure 38 : une coupe montrant l'éclairage naturel et la visibilité au sein du bâtiment CANMET; source : the American Institute of architects (the American institute of architects)	29
Figure 39 : atrium lumineux; source: the American Institute of architects (the American institute of architects)	30
Figure 40 : stratégies de ventilation ; source : the American Institute of architects	30
Figure 41 : Stratégie de réduction et de conservation de l'eau ; source : the American Institute of architects.....	30
Figure 42 : Situation de la ville de Laghouat en Algérie.	33
Figure 43 : carte de la ville de Laghouat.	34
Figure 44 : Zonage climatique de Laghouat.....	34
Figure 45: fréquence des ciex ensoleillés, 2014, Sources : La station météorologique de Laghouat.	35
Figure 46 : Graphe des températures (2014-2015), Source : La station météorologique de la Laghouat, auteur.....	35
Figure 47 : Diagramme de Givoni de Laghouat ; source : Etude et évaluation du confort thermique.	36

Figure 48 : Graphe de l'humidité. Annuelle 2015, Source : La station météorologique de la Laghouat.....	36
Figure 49 : pluviométrie annuelle de la ville de Laghouat ; source : station de météo-2015 - Laghouat.....	37
Figure 50 : moyens de vent de la ville de Laghouat 2015, Source : La station météorologique de Laghouat.....	37
Figure 51 : Rose des vents. Source : la station météorologique de Laghouat (Année 2010).....	37
Figure 52 : Les différentes phases de développement urbain de la ville. Source : (P.D.A.U) de Laghouat révision 2012.	38
Figure 53 : L'ancien tissu urbain présente un tissu compact.	39
Figure 54 : Les éléments architectoniques de Laghouat.	39
Figure 55 : la localisation du site d'intervention par rapport à la ville.....	40
Figure 56 : Administration R+1	41
Figure 57 : quatorze laboratoires en R+2.	41
Figure 58 : Bibliothèque R+2.....	41
Figure 59 : Département de technologie R+2	41
Figure 60 : Département d'architecture R+3.....	41
Figure 61 : photo prise du terrain d'intervention.	42
Figure 62 : l'assiette de l'implantation du projet avec le trajet solaire d'été et d'hiver.....	43
Figure 63 : vents dominants.	43
Figure 64 : l'état du lieu, source : Google earth.....	54
Figure 65 : choix des accès et mode d'occupation, source : l'auteure.	55
Figure 66 : formulation ; source : l'auteure.....	55
Figure 67 : orientation ; source : l'auteure	56
Figure 68 : Le zoning ; source : l'auteure	57
Figure 69 : sous-zoning ; source : l'auteure.	57
Figure 70 : schéma de l'idée du projet et la forme finale ; source : l'auteure.....	58
Figure 71 : schéma représentant l'idée du projet ; source : l'auteure	59
Figure 72 : forme et fonction (côté sud) ;source :l'auteure.....	60
Figure 73 : forme et fonction (côté nord) ; source : l'auteure	60
Figure 74 : forme et fonction (côté sud) ; source : l'auteure.....	60
Figure 75 : parcours intérieur, plan RDC Figure 76 : parcours intérieur, plan 1 ^{er} étage	61
Figure 77 : parcours intérieur, plan 2 ^{ème} étage	61
Figure 78 : organisation spatiale des activités. Source ; l'auteure.	61
Figure 79 : parcours extérieurs ; source ; l'auteure.....	62

Figure 80 :la trame du plan de masse ; Source : l’auteur.	63
Figure 81 : plan de masse	64
Figure 82 : les troncs d’arbre le source d’inspiration du motif principal	64
Figure 83 : vue sur la façade principale du projet ; Source : l’auteur.	65
Figure 84 : Façade est. Source : l’auteur.	65
Figure 85 : Façade ouest. Source : l’auteur.	66
Figure 86 : l’élément d’articulation. Source : l’auteur.	66
Figure 87 : Façade nord ; Source : l’auteur.	67
Figure 88 : Façade sud. Source : l’auteur.	67
Figure 89 : vue en plan Source : l’auteur.	68
Figure 90 : vue sur l’élément d’appel Source : l’auteur.	68
Figure 91 : espace de lecture en plein air Source : l’auteur.....	69
Figure 92 : vue sur l’accès principal du projet Source : l’auteur.....	69
Figure 93 : espace d’exposition du côté de l’accès secondaire du projet Source : l’auteur.	70
Figure 94 : Vue sur l’accès tertiaire du projet.....	70
Figure 95 : Vue sur l’accès de service.....	71
Figure 96 : Champ d’essai d’architecture Source : l’auteur.	71
Figure 97 : Champ d’essai de génie civil Source : l’auteur.....	71
Figure 98 : Vue proche sur la pergola amovible au niveau des champs d’essais Source : l’auteur.	72
Figure 99 : espace d’exposition ; Source : l’auteur.	72
Figure 100 : espaces de repos; Source : l’auteur.	73
Figure 101 : Vue sur la façade ouest du projet; Source : l’auteur.	74
Figure 102 : Espace de détente ; Source : l’auteur.	74
Figure 103 : Vue proche sur l’espace de détente ; Source : l’auteur.	74
Figure 104 : coupe d’un arbre, source :.....	75
Figure 105 : polystyrène extrudé. (Le polystyrène extrudé, économique et très isolant)	76
Figure 106 : façade est	76
Figure 107 : façade sud	77
Figure 108 : façade ouest	77
Figure 109 : des façades présente les murs rideaux	77
Figure 110 : protection solaire au niveau de la façade sud ; Source : l’auteur.....	77
Figure 111 :des plans d’eau des cotés différent du projet ; Source : l’auteur	78
Figure 112 : schéma de principe installation photovoltaïque.....	78

Figure 113 : intégration des panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture ; Source : l’auteure.	79
Figure 114 : lampadaire solaire (TOUT SAVOIR SUR L’ÉCLAIRAGE SOLAIRE)	79
Figure 115 : lampadaire à énergie solaire (espace champs d’essai) ; Source : l’auteure.	79
Figure 116 : éclairage à énergie solaire (Quid de votre éclairage extérieur ?).....	80
Figure 117 : éclairage à énergie solaire ; Source : l’auteure.	80
Figure 118 : principe de fonctionnement des Cellules photos voltaïques translucides.....	80
Figure 119 : Façade à vitrage photovoltaïque transparent source : (panneaux solaires transparentes)	81
Figure 120 : Pergolas couvertes de verre photovoltaïques transparents ; Source : l’auteure.....	81
Figure 121 : Murs rideaux en verre photovoltaïques transparents (vue sur la cour) ; Source : l’auteure.....	81
Figure 122 : Murs rideaux en verre photovoltaïques transparents (façade principale) ; Source : l’auteure.....	82
Figure 123 : Principe technologique du vitrage «Electrochrome SageGlass» (Quantum Glass) .	82
Figure 124 : façade ouest ; Source : l’auteure.	82
Figure 125 : coupe d’une toiture végétalisée source (Définition et composantes, 2013).	83
Figure 126 : vue sur un plafond présente l’éclairage zénithal, source : (Eclairage zénithal naturel : deux idées lumineuses).	83
Figure 127 : vue sur le toit de l’administration ; Source : l’auteure.....	84
Figure 128 : vue sur la serre de la cour ; Source : l’auteure.....	84
Figure 129 : la stratégie du chaud en hiver.	90
Figure 130 : Le parcours solaire en interaction avec un lieu (Liébard et De Herde)	90
Figure 131 : L’interaction du rayonnement solaire avec une surface (Liébard et De Herde).....	90
Figure 132 : Le rayonnement solaire reçu par une paroi orientée au sud (Liébard et De Herde).	91
Figure 133 : Le bilan du cycle de l’eau	91
Figure 134 : Variations de la vitesse du vent selon l’altitude et la rugosité.....	92
Figure 135 : plan de masse. Source : l’auteure.	94
Figure 136 : l’espace à simuler. Source : l’auteure.	94
Figure 137 : l’espace étudié sur le plan. Source : l’auteure.	95
Figure 138 : les matériaux utilisés du cas initial, source : l’auteure.	96

Figure 139 : Graphe de la température du cas initial d'été ; source : l'auteure	96
Figure 140 : Graphe de la température du cas initial d'hiver ; source : l'auteure.	97
Figure 141 : les matériaux utilisés du cas amélioré été source : l'auteure.	97
Figure 142 : ventilation naturelle par patio.	98
Figure 143 : résultat 3d cas amélioré été source : l'auteure.	98
Figure 144 : Graphe de la température du cas amélioré été ; source : l'auteure.	99
Figure 145 : Graphe des températures cas initial et cas amélioré (été) ; source : l'auteure.	99
Figure 146 : les matériaux utilisés du cas amélioré hiver ; source : l'auteure	100
Figure 147 : résultat 3d cas amélioré en hiver; source : l'auteure.....	101
Figure 148 : Graphe de la température du cas amélioré hiver ; source : l'auteure.....	101
Figure 149 : Graphe des températures cas initial et cas amélioré (hiver) ; source : l'auteure. ...	101
Figure 150 : facteur de lumière du jour (flj).....	105
Figure 151 : Modélisation de l'espace étudié sur Ecotect. Source : l'auteure.	107
Figure 152 : valeur du FLJ à ciel dégagé (cas initial été). Source : l'auteure.	108
Figure 153 : Modélisation de l'espace étudié pour le cas amélioré sur Ecotect. Source : l'auteure.	109
Figure 154 : valeur du FLJ à ciel dégagé (cas amélioré été). Source : l'auteure.	109

Liste des tableaux

Tableau 1 : les valeurs recommandées de la température du confort, Source énergie plus.com. .	95
Tableau 2 : les dispositifs d'amélioration ajoutés pour le cas été ; source : l'auteure	98
Tableau 3 : les dispositifs d'amélioration ajoutés pour le cas hiver ; source : l'auteure.....	100
Tableau 4 : valeurs recommandées d'éclairement minimal pour quelques types d'activité. Source : (Cadiergues).	106
Tableau 5 : informations sur l'espace étudié.....	107

Introduction générale

La recherche scientifique est l'une des premières conditions pour le développement, elle permet d'approfondir les connaissances et d'élever le niveau des pensées et par conséquent un progrès de la production scientifique et cognitif

La recherche scientifique joue un rôle essentiel dans la prise de conscience des enjeux et des conditions du développement durable. En anticipant les problèmes, clarifiant les enjeux et proposant des solutions.

L'architecture a un grand lien avec l'environnement du fait de l'interactions entre les deux, c'est pour cette raison qu'il faut tenir en compte l'environnement dans le processus de conception et de réalisation du bâtiment dans une optique de développement durable, pour minimiser le plus possible ses impacts sur l'environnement.

Un laboratoire de recherche en architecture et en génie civil, est un projet qui apporte beaucoup d'avantage à la science et à la vie sociale scientifique et culturelle, mais comme tout bâtiment, il pourrait présenter un effet négatif pour l'environnement, de par sa consommation énergétique en phase d'utilisation ou de construction, et ses matériaux de construction qui sont extraits de la nature. C'est justement pour cette raison qu'on a opté pour une démarche environnementale dans la conception de notre projet (un laboratoire d'architecture et de génie civil) en prenant en compte les conditions climatiques de cette région, qui est caractérisée par un été chaud et sec et un hiver froid et dure, et les problèmes liés à la consommation énergétique et les matériaux de construction qui nuisent à la nature, en utilisant les différentes solutions qui concernent l'enveloppe et la conception architecturale.

Problématique

Les recherches menées dans les différentes disciplines des sciences de la vie, de l'homme et de la société, et de l'ingénierie ont une contribution très importante à apporter à la mise en œuvre d'un développement durable dans tous les domaines de la vie humaine. Et pour ce fait la mise en place des laboratoires de recherche est indispensable pour fournir un lieu d'échange de savoir, de recherche et de production scientifique, l'architecture et l'ingénierie sont parmi les domaines très avancés en matière de recherche scientifique et de développement durable, qui représente un domaine très vaste et interdisciplinaire, doté de plusieurs recherches qui traversent le monde entier, donc la disponibilité de ce type de laboratoire est indispensable surtout dans les établissements universitaires, pour accompagner les chercheurs dans leurs cursus scientifique, ce qui facilite et rendre accessible toute acte de recherche et d'apprentissage.

En Algérie, la recherche scientifique est un domaine en cours de progrès et qui a besoin de lui apporter plus d'intérêt et d'encouragement. À l'université de Laghouat où il y a plusieurs

spécialités qui se chevauchent et qui se complètent, un laboratoire de recherche est indispensable pour développer de nouveaux axes de recherche et ouvrir l'opportunité à de nouvelles générations chercheuses pour s'épanouir, ce qui améliore la qualité du produit scientifique et nous aide à avancer dans ce domaine, à l'échelle locale et même mondiale.

En tant qu'architectes, notre rôle est d'assurer une bonne conception des espaces, qui répondent aux besoins des chercheurs et des travailleurs, leurs assurer une bonne ambiance de travail au et de recherche au sein des laboratoires, tout en assurant le confort et en respectant l'environnement.

La proposition d'un laboratoire de recherche scientifique de génie-civil et d'architecture à l'université de Laghouat, pourrait constituer une infrastructure d'accueil pour les enseignants et les chercheurs, ce laboratoire doit contenir des espaces de travail pour les principaux axes de recherches, et des bureaux pour les chercheurs, des postes de travail, des champs d'essai et des espaces d'expositions et des services.

Le site du projet est très important, c'est au sein du nouveau pôle universitaire, entre les deux départements architecture et génie civil qui sont complémentaires.

L'insertion d'un projet d'un laboratoire d'architecture et de génie civil, avec toutes ses exigences fonctionnelles et dimensionnelles, dans un climat tel que de Laghouat caractérisé par un ensoleillement intense, un été très chaud et un hiver froid et un taux d'humidité relativement faible, mène à poser la question suivante :

Comment concevoir un laboratoire de recherche d'architecture et de génie civil qui s'adapte au climat de la région de Laghouat et qui répond aux besoins de confort intérieur et par extension avec moindre consommation énergétique ?

Hypothèses

- La conception d'un laboratoire de recherche en s'appuyant sur les principes de conception environnementale appropriés aux zones arides pourrait créer un environnement intérieur adéquat.

Sous hypothèses :

- Une forme compacte avec une orientation nord-sud pourrait assurer un confort thermique.
- Le chauffage passif avec l'exploitation de l'effet de serre pourrait aider à rattraper la marge de confort thermique dans les laboratoires au rez-de-chaussée dans le climat de Laghouat.
- L'utilisation des matériaux isolant ou à haute inertie thermique pourrait améliorer les conditions thermiques intérieures et améliorer la performance énergétique.
- L'utilisation d'éclairage zénithal avec des dispositifs de contrôle solaire pourrait constituer une solution efficace pour assurer un confort visuel.

Objectifs :

A travers ce mémoire on souhaite arriver aux deux objectifs suivants :

- Concevoir un projet d'un laboratoire de recherche de génie civil et d'architecture qui offre des conditions de confort pour ses usagers.
- Elaborer une guideline pour la conception des laboratoires dans les climat chauds et secs.

Méthodologie :

Ce travail est élaboré en deux axes. Le premier est destiné à la recherche théorique et l'analyse contextuelle, le deuxième c'est la conception architecturale et à la vérification de conditions du confort par simulation numérique.

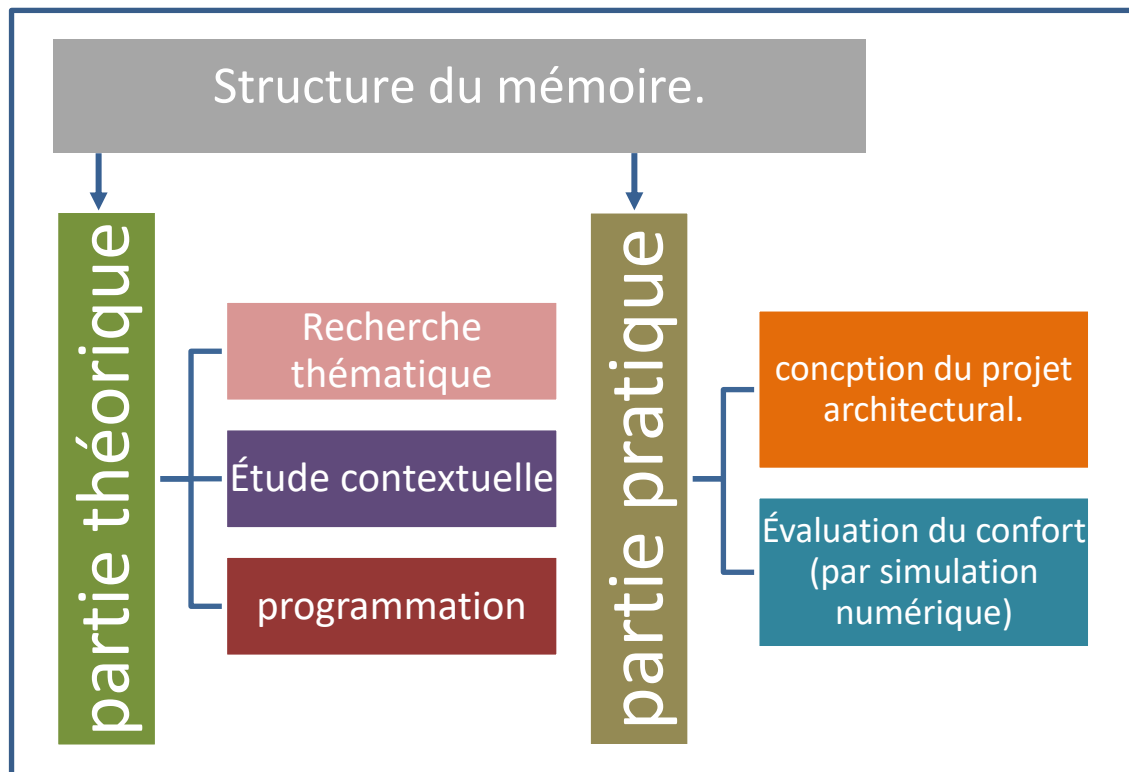


Figure 1 : structure du mémoire ; source : l'auteur.

Chapitre I : Étude thématique

Introduction

Nous présentons dans ce chapitre des concepts clés et des notions de base liés à l'architecture bioclimatique, qui nous serviront de soubassement théorique afin de mieux cerner la problématique, comprendre ses dimensions et trouver des réponses adéquates au questionnement dans les chapitres qui suivent. Ce qui nous permettra de mieux analyser les exemples des projets similaires, et de mieux justifier la méthodologie d'approche au projet.

I. Définitions des concepts

I.1 Développement Durable

C'est à travers la problématique de la conservation des ressources naturelles qu'est née la notion du développement durable « Répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leurs propres besoins. » (Centre de Développement Durable - e-TPC sarl.). Cette définition n'est formulée qu'en 1987 par le rapport Brundtland⁴ de la Commission des Nations Unies sur l'Environnement et le développement, dans son rapport intitulé « Notre avenir à tous » (Lattès, 2008).

I.2 Climat aride :

Le climat aride se caractérise par la sécheresse toute l'année (l'aridité). Les températures sont différentes dans les déserts froids et les déserts chauds. Les faibles précipitations ont des conséquences sur la végétation : celle-ci est rare ou adaptée à la sécheresse permanente (Sjöholm)

I.3 Climat semi-aride :

Le climat semi-aride est défini comme la zone dans laquelle les précipitations sont, certaines années, insuffisantes pour y maintenir les cultures et où l'évaporation excède souvent les précipitations (Organisation météorologique mondiale)

I.4 L'architecture bioclimatique et le respect de l'environnement :

L'architecture bioclimatique est une architecture qui profite au maximum des éléments naturels du climat au moment opportun, le climat est un atout dans la conception, elle concilie l'enveloppe architecturale à son environnement, elle apporte à la construction la garantie de profiter au maximum des apports solaires passifs, elle vise à se protéger, capter, stocker, et réguler suivant deux stratégies à savoir, la chaleur en stratégie d'hiver et le rafraîchissement en stratégie d'été. (Liébard et De Herde)

Pour cela, les concepteurs d'architecture bioclimatique effectuent une étude approfondie sur le site, son environnement, le climat, les risques naturels ou encore la biodiversité existante et font en sorte de tirer le meilleur du lieu d'implantation tout en prévoyant les contraintes éventuelles. Développement durable, sobriété d'usage, insertion dans le territoire et confort intérieur sont les fondements de l'architecture bioclimatique. Il s'agit donc de capter l'énergie nécessaire, de la

diffuser et surtout de la conserver de manière naturelle et respectueuse de l'environnement. En parallèle, le principe est de réduire au maximum l'utilisation des énergies polluantes et non renouvelables telles que le gaz et l'électricité (architecture bioclimatique).

I.5 L'architecture verte :

L'architecture verte ou l'architecture écologique (ou architecture durable) est un mode de conception et de réalisation ayant pour préoccupation de concevoir une architecture respectueuse de l'environnement et de l'écologie. Il existe de multiples facettes de l'architecture verte, certaines s'intéressant surtout à la technologie, la gestion, ou d'autres privilégient la santé de l'homme, ou encore d'autres, plaçant le respect de la nature au centre de leurs préoccupations.

On peut distinguer plusieurs « lignes directrices » (DUNGIA) :

Le choix des matériaux, naturels et respectueux de la santé de l'homme,

Le choix de la disposition des pièces (par exemple) pour favoriser les économies d'énergie en réduisant les besoins énergétiques,

Le choix des méthodes d'apports énergétiques,

Le choix du cadre de vie offert ensuite à l'homme (jardin, etc.)

I.6 Confort thermique :

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement (Liébard et De Herde). Il est référencié à la thermique du bâtiment, cette discipline visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde essentiellement les notions d'isolation thermique et de ventilation pour limiter les échanges thermiques avec l'extérieur, de fourniture d'énergie pour le chauffage et de production d'eau chaude sanitaire (Saidi Hassani Alaoui) .

I.7 Ventilation :

La ventilation dans le bâtiment permet le renouvellement et l'assainissement de l'air intérieur d'un local ou d'une construction. Elle consiste à créer un mouvement d'air dynamique grâce à un extracteur ou un ventilateur au travers de conduits gaines (Ventilation)

I.8 L'éclairage :

L'éclairage est le moyen qui permet à l'homme de disposer d'une bonne capacité visuelle dans son environnement, qu'il soit naturel ou artificiel.

En milieu professionnel, il existe une obligation en matière d'*éclairage* : l'employeur doit doter son personnel d'une luminosité suffisante pour exercer son activité de sorte à éviter la fatigue visuelle, ainsi que les affections de la vue qui en résultent (service interprofessionnel de santé au travail)

I.9 HQE :

Abréviation de « haute qualité environnementale ». Démarche visant à réduire les impacts sur l'environnement des bâtiments lors de leur construction, de leur rénovation et de leur usage (Peuportier).

I.9.1 Les 14 cibles de la HQE:

1. Cible Eco-construction ;
2. Cible Eco-gestion ;
3. Cible Confort ;
4. Cible Santé.

Les deux premières cibles sont relatives à l'impact que le bâtiment peut avoir sur l'environnement, à l'échelle mondiale, régionale ou locale. Les deux dernières cibles portent sur les conditions environnementales faites à l'utilisateur ou l'habitant, à l'intérieur du bâtiment.

Ces cibles génériques se subdivisent à leur tour en 14 sous-cibles de la manière suivante (Peuportier) :

I.9.1.1 ECO-CONSTRUCTION

1. Relation physique des bâtiments avec leur environnement immédiat ;
2. Choix intégré des procédés et produits de construction ;
3. Chantier à faibles nuisances.

I.9.1.2 ECO-GESTION

4. Gestion de l'énergie ;
5. Gestion de l'eau ;
6. Gestion des déchets d'activité ;
7. Entretien et maintenance.

I.9.1.3 CONFORT

8. Confort hygrothermique ;
9. Confort acoustique ;
10. Confort visuel ;
11. Confort olfactif.

I.9.1.4 SANTE

12. Conditions sanitaires ;
13. Qualité de l'air ;
14. Qualité de l'eau.

I.10 La recherche scientifique :

On entend en général par recherche scientifique, un mode particulier d'acquisition de connaissances utilisant des moyens structurés et systématiques pour recueillir des données, c'est à-dire des méthodes en vue de mieux comprendre ou expliquer un phénomène, comme de produire et de développer des connaissances scientifiques (Uzima)

I.11 Laboratoire de recherche :

Un laboratoire de recherche est une structure sociale constituée donnant un cadre de travail aux chercheurs. Il peut être affilié à une université ou à un organisme de recherche scientifique. Ce terme est employé sans impliquer nécessairement que des travaux de laboratoire y soient menés (Le-concept-de-lab). Dirigé par un Directeur élu, il doit être constitué d'au moins quatre équipes de recherche, chacune est constituée d'au moins trois chercheurs dont le chef d'équipe (LABORATOIRES DE RECHERCHES).

I.12 Laboratoire de recherche en architecture et en génie civil :

Un laboratoire de recherche en architecture et de génie civil accueille les chercheurs dans leurs travaux de recherche participe à la mise en place des fondements de la recherche scientifique qui concerne l'architecture en toutes ses disciplines (urbaine et paysagère, comme il peut être spécialisé au patrimoine ou en environnement) et le génie civil en toutes ses disciplines et ses spécialités aussi (géotechnique, structures, matériaux construction, physique du bâtiment, ...etc) et ce qui est important dans un tel laboratoire c'est l'interdisciplinarité, le développement des deux spécialités et de nouveaux axes et de nouvelles perspective de recherche. Cela se fera par des travaux d'explicitation du processus d'élaboration du projet de recherche, notamment en ce qui concerne les modalités cognitives de ce processus où président les recours à des références, des modèles, des techniques, des préceptes, dans des ateliers de recherche, des laboratoires, des ateliers de maquettes des espaces d'exposition et de conférence.

II. Analyse des exemples

Avant d'entamer la conception d'un laboratoire de recherche d'architecture et de génie civil, il est nécessaire de commencer par analyser quelques exemples similaires afin d'avoir une idée sur ce type d'établissements, les principes de conception, ses fonctions et ses exigences spatiales et du confort.

II.1 1^{er} exemple: Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects

II.1.1 Fiche technique :

- Architectes : groupe Ross-Barney
- Chef de projet Carol Ross Barney, FAIA
- Architecte de record SJA Architectes.
- Emplacement : Duluth, MN, États-Unis.
- Catégorie : Université.
- Surface : 35300 m².
- Photographies Kate Joyce Studios.

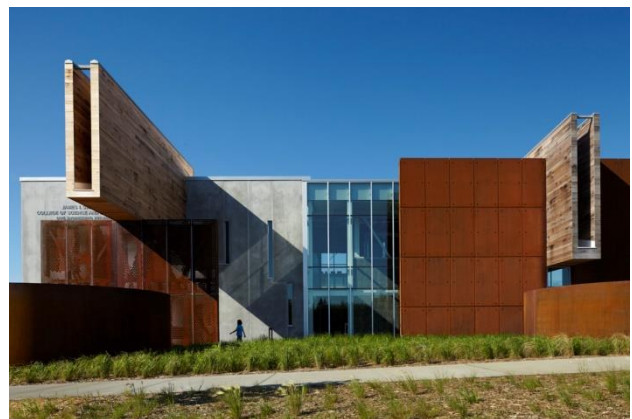


Figure 2 : façade nord du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)

II.1.2 Situation du projet :

Le projet est situé au nord est de la ville de Duluth



Figure 3 : plan de situation du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects

II.1.3 Plan de masse :

Le projet est situé au sein de l'université Minnesota Duluth dans le côté nord-est. Il a été ajouté au bâtiment d'ingénierie à l'université, il prend une forme simple en deux niveaux, Le bâtiment possède deux accès orientés vers l'Est, Un parking est localisé juste en face de la façade nord du bâtiment (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects).



Figure 4 : plan de masse du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects

II.1.4 Les façades :

L'utilisation des matériaux extérieurs compatibles avec les autres bâtiments du campus et des matériaux disponibles localement, provenant des fouilles et des mines de la région, le bâtiment maintient une connexion avec le campus et avec l'économie régionale. (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)

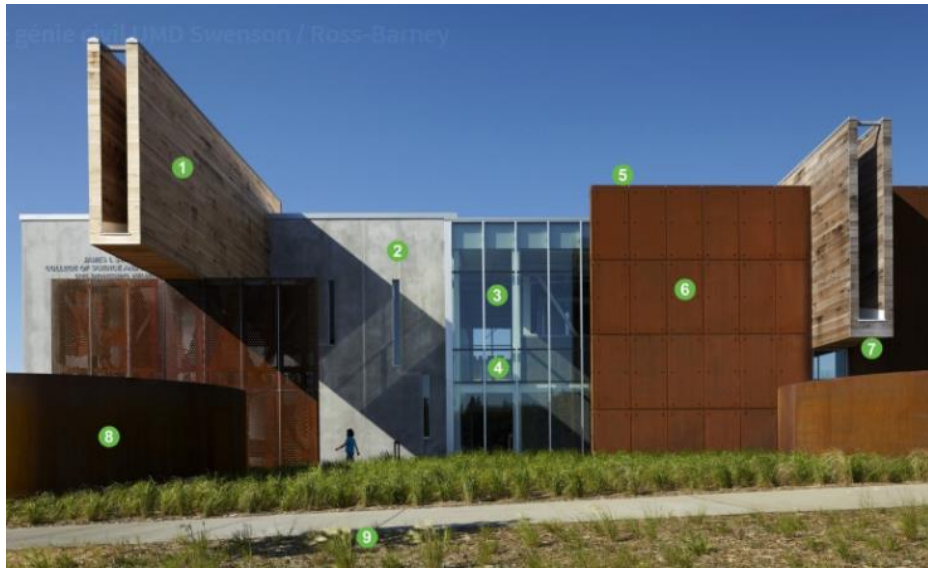


Figure 5:Façade principale du projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects. (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)

- (1) Bois de cyprès
- (2) Les panneaux de mur préfabriqués en béton offrent une valeur R élevée en raison de l'isolation et des liens non thermiquement conducteurs
- (3) Vitrage spectralement sélectif et à faible émissivité utilisé pour réduire la charge thermique et les rayons UV nocifs
- (4) Accès à la lumière du jour pour plus de 90% des espaces
- (5) Toit réfléchissant atténue l'effet de chaleur et maintient le bâtiment plus frais
- (6) Acier corten laissé naturellement inachevé à la patine
- (7) Les eaux de pluie sont collectées via un système de dalots sur le toit et détournées vers un système de drainage français pour la filtration et la réutilisation des eaux pluviales
- (8) Les bouteilles en acier corten sont remplies de taconite de stériles miniers récupérés pour filtrer les eaux pluviales
- (9) Paysage avec des plantes indigènes et adaptées. Aucune irrigation permanente utilisée pour l'aménagement paysager

La bâtiment est en deux étages, sa façade principale est revêtue de différents matériaux, qui ont de bonnes caractéristiques vis-à-vis l'isolation thermique, une grande baie vitrée sur le hall d'accueil et les espaces de transition, une bonne partie de la façade sous forme de moucharabieh assure un tamisage des rayons solaires, dans la partie des laboratoires, les salles de classes et les bureaux administratifs.les couleurs de la façades varient entre le clair et le mate, en restant naturelle.



Figure 6 : façade Sud.



Figure 7 : façade est.



Figure 8 : façade ouest.

Figure 9: façades de projet Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects.

II.1.5 Les plans :

Les activités sont distribuées en deux étages, le rez de chaussée contient les espaces actifs et d'accueil, des laboratoires ainsi que des bureaux administratifs, l'étage c'est un peu plus calme, il contient les bureaux et des salles de classe, (voir figure 10 et Figure 11) (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)



Figure 10: Plan du RDC

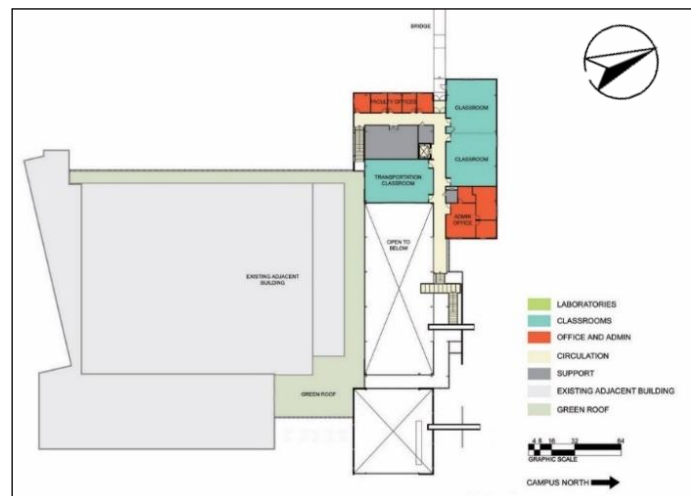


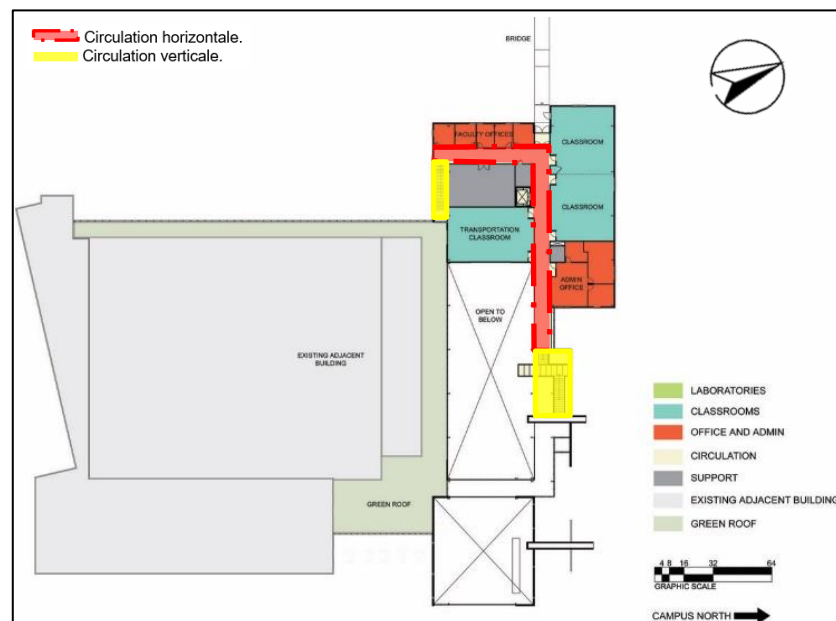
Figure 11: Plan étage.

Légende des plans :

- laboratoires
- bureaux et administration
- bâtiment adjacent existant
- Support
- Circulation
- salles de classes

II.1.6 La circulation :

La distribution de ses espaces est faite selon des couloirs. (Voir Figure 12 et Figure 13)



II.1.7 Aspect de durabilité de projet :

Le nouveau bâtiment est certifié LEED Gold¹. Un environnement sain pour les occupants a été réalisé en intégrant des stratégies durables faisant partie du système d'évaluation LEED pour les nouvelles constructions. Ceux-ci incluent (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects):

- Une ventilation accrue,
- L'utilisation de matériaux de construction à faibles émissions,
- Un contrôle avancé de l'éclairage,
- Un contrôle avancé du confort thermique,
- L'accès à la lumière du jour et aux vues des espaces occupés,
- L'utilisation d'un système de distribution d'air sous le sol.
- Des plantations indigènes et des jardins pluviaux parsèment les élévations est et ouest.
- Un toit végétal en matériaux végétaux permet de réduire les eaux de ruissellement, de rafraîchir le bâtiment, de réduire le bruit et d'éblouir les bâtiments environnants.



Figure 14 : Façade nord. (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)

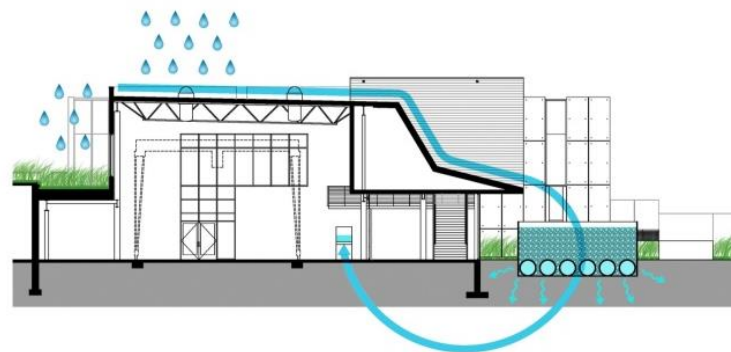


Figure 15 : système de récupération des eaux pluviales. (UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects)

¹ LEED est une certification de bâtiment dépendant d'une organisation gouvernementale à but non lucratif le USGBCU.S. Green Building Council. Le système de notation LEED Green Building aide les professionnels à améliorer la qualité de leurs bâtiments et leur impact sur l'environnement. Ce système n'a pas qu'un impact positif sur la santé publique et l'environnement, mais réduit aussi les coûts d'exploitation, améliore la construction et la qualité du bâtiment, augmente potentiellement la productivité de ses occupants et contribue à créer une collectivité « durable ».

II.2 2ème exemple : Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S

II.2.1 Fiche technique :

- Architectes : *Architectus S/S*
- Emplacement : Precabura, Eusébio - CE, 61760-000, Brésil
- Catégorie : Université
- Architectes principaux : *Elton Timbó, Alexandre Landim, Ricardo Saboia, Mariana Furlani*
- Surface : 43147,0 m²
- Année du projet : 2017
- Photographie : par *Joana França*, avec la permission de *Architectus S / S*



Figure 16 : deuxième exemple Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S/S.

II.2.2 La situation

Situé sur la commune d'Eusébio, dans la région métropolitaine de Fortaleza



Figure 17 : Plan de situation. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

II.2.3 Plan de masse

Le projet situé sur un terrain de 103 683,00 m², avec 18 550,00 m² de surface construite, il comprend les bâtiments suivants : bâtiment d'enseignement et de gestion, bâtiment de recherche et laboratoire, bâtiment d'infrastructure, bâtiment de services, auditorium, services, kiosques de sécurité, Amphithéâtre, support à vélos, place principale et parkings. Les bâtiments ont été disposés dans le sens de la longueur sur la parcelle afin de maximiser l'orientation solaire et la ventilation naturelle, ainsi que pour organiser les flux piétonniers et les accès aux bâtiments. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

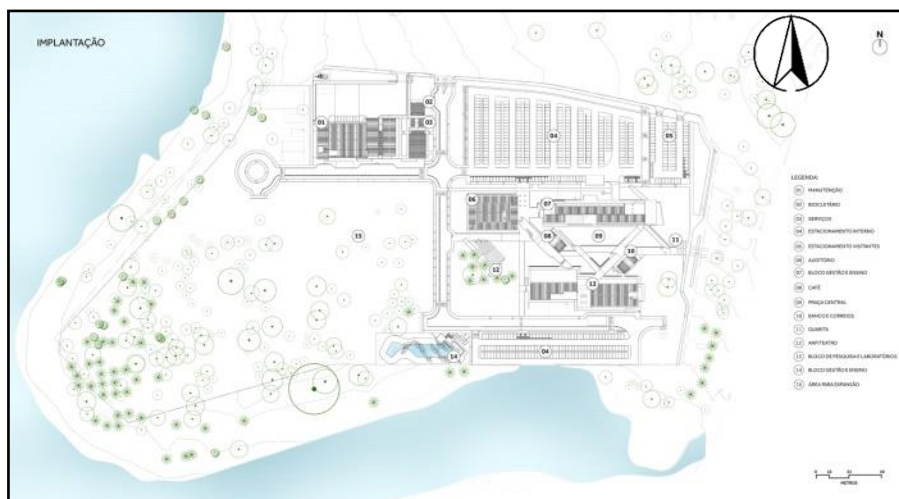


Figure 18 : plan de masse. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

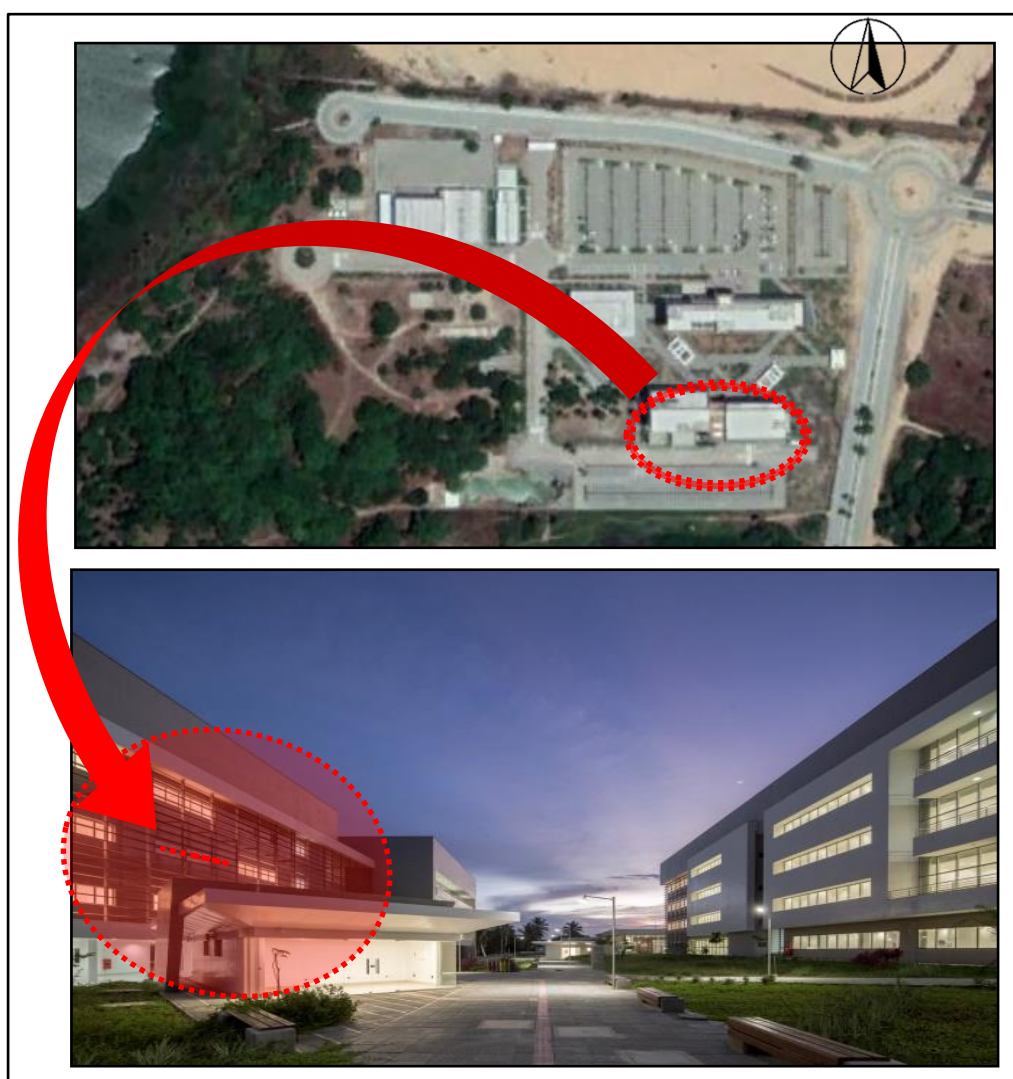


Figure 19 : bloc des laboratoires de recherche. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S).



Figure 20 : délimitation du bloc étudié. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S).

II.2.4 Les façades :

Le bâtiment étudié se divise en deux blocs adjacents articulés par un espace intermédiaire réservé à la circulation verticale (cage d'escalier), les façades des deux blocs sont traitées de manières différentes, il s'agit de trois étages qui reposent sur un rdc en retrait, le bloc gauche est revêtu par une protection solaire de couleur de bois (voir détail Figure 28), la façade du deuxième bloc est en couleurs claires, avec des fenêtres en bandeaux avec des balcons saillants.



Figure 21 : façade nord du laboratoire de Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

	Laboratoires		Hall d'ascenseur
	Salle de réunion		Bureaux
	Patio		Archive
	Réfectoire		Kitchenette
	Accès des employeurs		Salle de lecture
	La cuisine		Dépôt

II.2.6 La circulation :

La circulation horizontale est assurée par de longs couloirs, la circulation verticale est assurée par des escaliers des ascenseurs. L'accès complet est garanti dans tout le bâtiment par des rampes et des ascenseurs. (Figure 24)

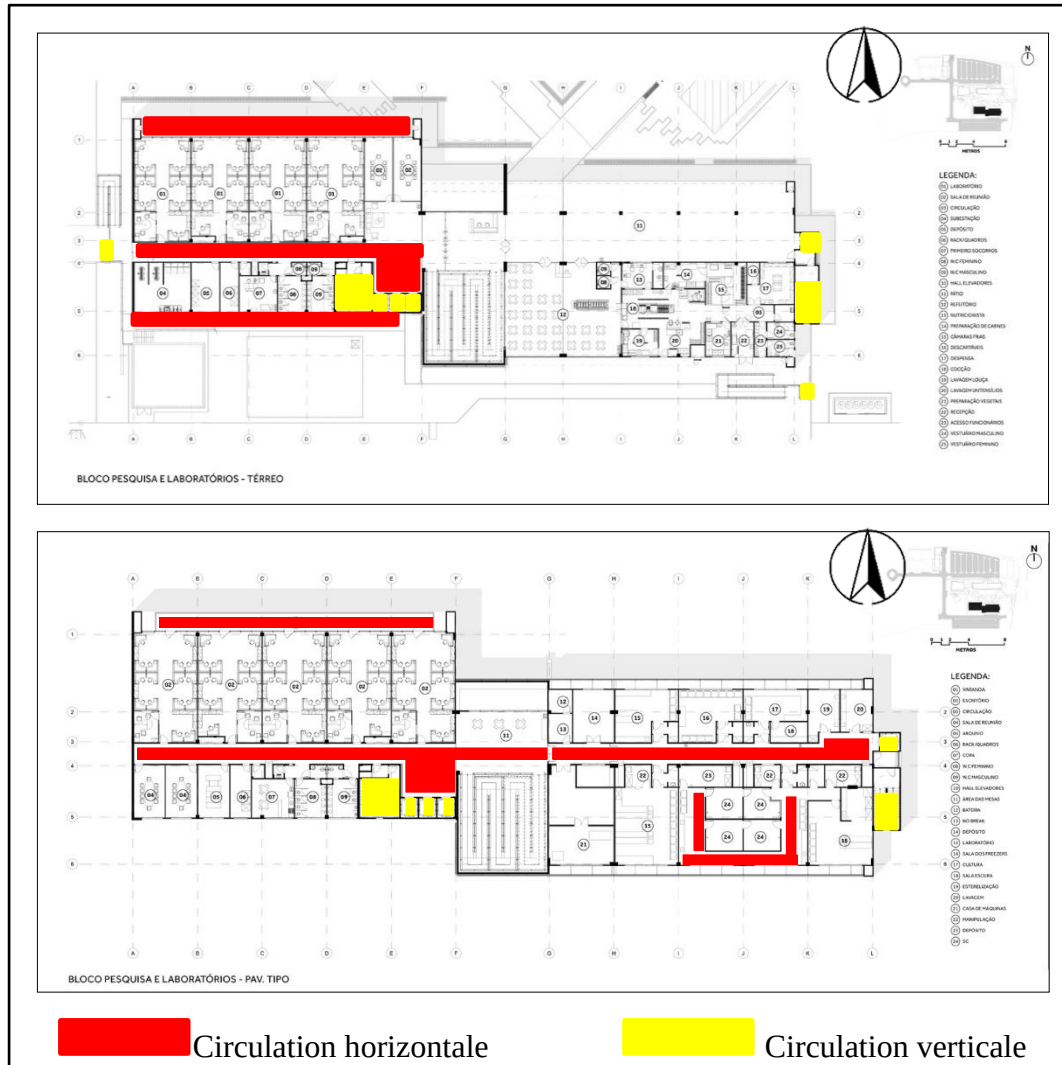


Figure 24 : plans du rdc et étage montrant les types de circulation.



Figure 25 : coupe. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

II.2.7 Aspects de durabilité de projet :

D'autres projets durables font également partie de ce projet : des salles avec systèmes de contrôle de la température et d'éclairage automatisé, un système de toiture conçu pour recevoir des cellules solaires et pour promouvoir la réutilisation de l'eau de pluie dans les toilettes et l'application de vitrages thermiques hautes performances façades extérieures. Et l'utilisation de la toiture végétalisées comme le montre la Figure 27

Les zones internes disposent d'un système automatisé dédié au contrôle de la température et de l'éclairage (voir Figure 26), et quelques laboratoires disposent également d'un système de rénovation de l'air doté d'une filtration absolue, respectant scrupuleusement les réglementations en matière de biosécurité. En fournissant un éclairage naturel et une ventilation des zones de circulation, il a été possible de réduire les coûts énergétiques globaux.

Situé au rez-de-chaussée, le restaurant peut servir jusqu'à 600 repas par quart de travail. Ses processus de manipulation des aliments, ses flux internes, son traitement acoustique et son système de rénovation de l'air ont été conçus dans le respect des réglementations locales. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

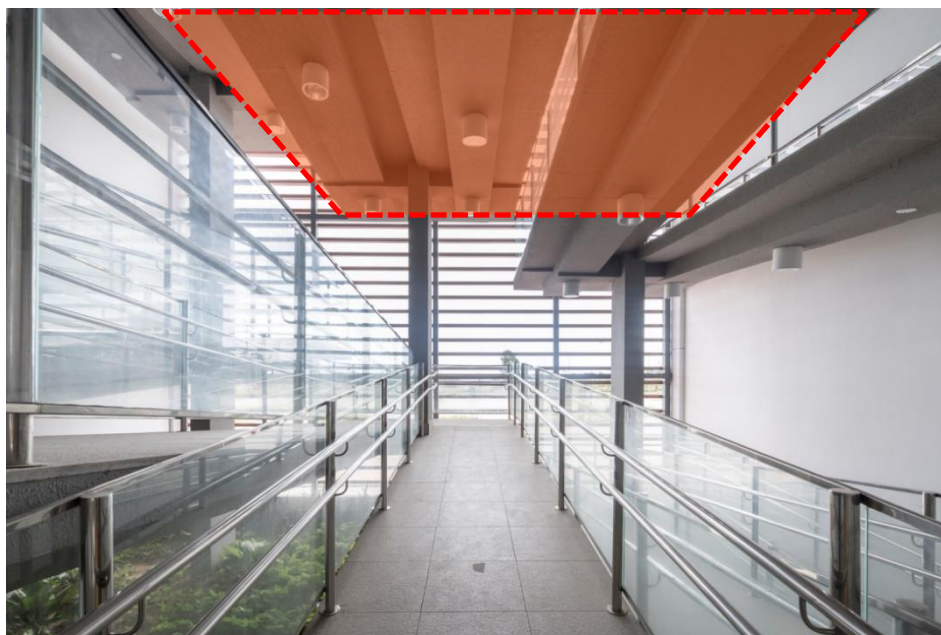


Figure 26 : photo de l'intérieur du bâtiment avec système de contrôle de la température et de l'éclairage. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)



Figure 27 : schéma de la toiture végétalisée. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

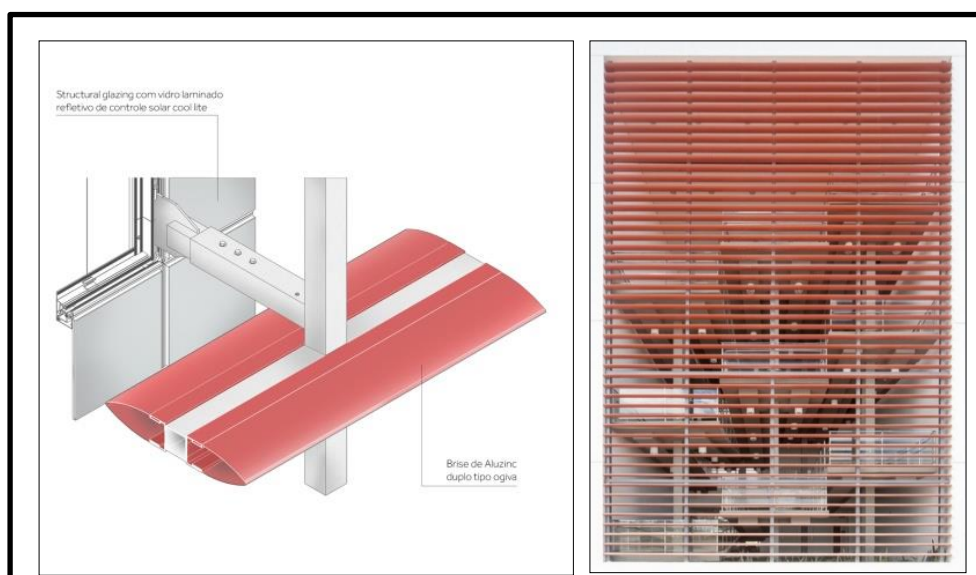


Figure 28 : Protection solaire. (Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S)

II.3 3ème exemple : Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET

II.3.1 Fiche technique

- **Emplacement** : 183, chemin Longwood sud Hamilton Ontario L8P 0A5 Canada
- **Architecte d'envoi** : Diamond Schmitt Architectes
- **Date d'achèvement du projet** : Janvier 2011
- **Type de projet** : Laboratoire
- **Surface brute du projet** : 177 280 pieds carrés



Figure 29 : côté ouest du projet ; source : the American Institute of architects

II.3.2 Situation du projet

Situé au McMaster Innovation Park (MIP), un nouveau développement de campus de 37 acres

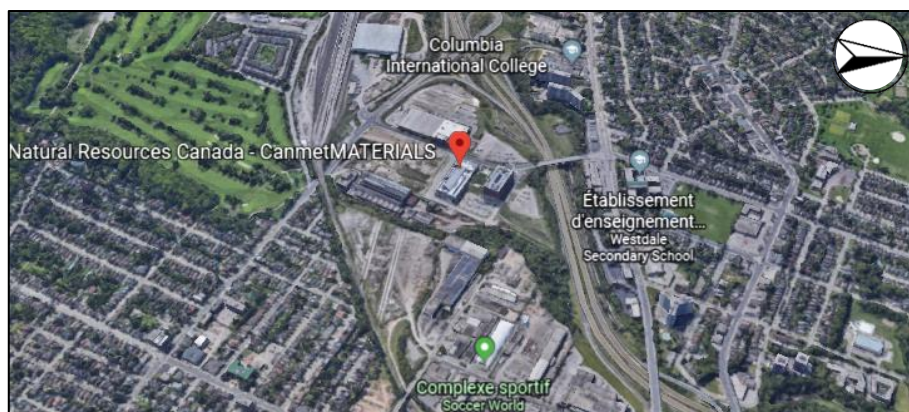


Figure 30 : plan de situation du CANMET materials technology laboratory ;source :google earth

II.3.3 Plan de masse :

Le bâtiment est situé sur deux voies du transport en commun avec un arrêt de bus à l'extérieur. Le site dispose de 5 emplacements de parking pour voitures, de deux véhicules hybrides, de supports à vélos protégés et sécurisés, ainsi que de vestiaires et de douches pour les employés. Au cours des phases de planification, l'équipe a réussi à convaincre la Ville de réduire son nombre de places de stationnement à 141 places, Frid Street au sud est dimensionnée pour intégrer des pistes cyclables. (the American institute of architects)



Figure 31 :plan de masse du CANMET materials technology laboratory; source: the American Institute of architects

II.3.4 Les façades :

Les façades du projet est caractérisée par une alternance entre le plein et le vide, exprimés par les murs et les baies vitrés en bandeaux et des fenêtres rectangulaires, les couleurs utilisées sont l'orange brique et le gris métallisé pour exprimer la technologie et l'innovation.



Figure 32 : Façade ouest; source : : the American Institute of architects



Figure 33 : façade est ;source :google earth



Figure 34 : façade sud ; source : google earth

II.3.5 Les plans :

Les activités sont distribuées en trois niveaux, le Rez-de-chaussée est consacré aux laboratoires, du service et quelques bureaux, au premier étage il y a la bibliothèque, des laboratoires et bureaux, le dernier étage contient l'entité administrative avec les laboratoires. (Voir Figure 35).



Figure 35 : les plans de (RDC, ETAGE1, ETAGE2) dans l'ordre ; source : the American Institute of architects

II.3.6 Circulation :

Comme montré dans les plans la circulation horizontale est assurée à travers des corridors et la circulation verticale à travers des escaliers.(Voir

Figure 36)



Figure 36 : circulation horizontale et verticale des niveaux (the American institute of architects)

II.3.7 Aspects de durabilité du projet :

La prise en compte du microclimat du projet et les stratégies de réduction de la consommation énergétique sont les piliers de cette conception bioclimatique du projet, ce qui lui permet d'avoir une bonne ambiance visuelle et thermique à l'intérieur. Parmi les solutions optées pour cette conception, on cite : les matériaux utilisés qui ont de bonnes caractéristiques thermiques, le triple vitrage, les panneaux solaires pour profiter de l'énergie solaire et la transformer en énergie à consommer, ainsi que l'utilisation de mur solaire thermique qui préchauffe l'air frais, pendant la ventilation en hiver, il est incliné à 54 degrés afin d'optimiser le chauffage et d'enfermer le côté sud de l'espace. (voir Figure 37), la protection solaire a permis de profiter des rayons de l'éclairage naturel sans qu'il y ait un surchauffe dû aux rayons solaires (voir Figure 38 et Figure 39), la stratégie de ventilation est expliquée dans la Figure 40.

Les terrasses accessibles avec des zones de plantation intensives contribuent à la réduction du volume des eaux pluviales, ce qui aide à en profiter ainsi de les collecter, des citernes ont été mise en place pour le stockage des eaux (voir Figure 37) (the American institute of architects)

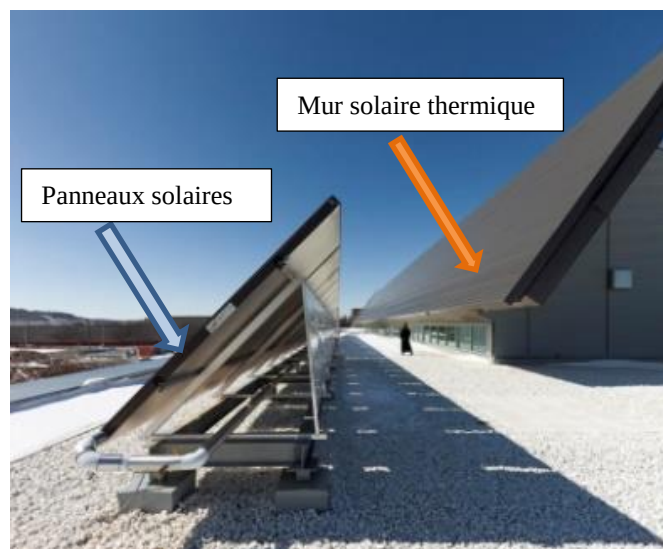


Figure 37 : Mur solaire et capteurs solaires thermiques ; source : the American Institute of architects (the American institute of architects)

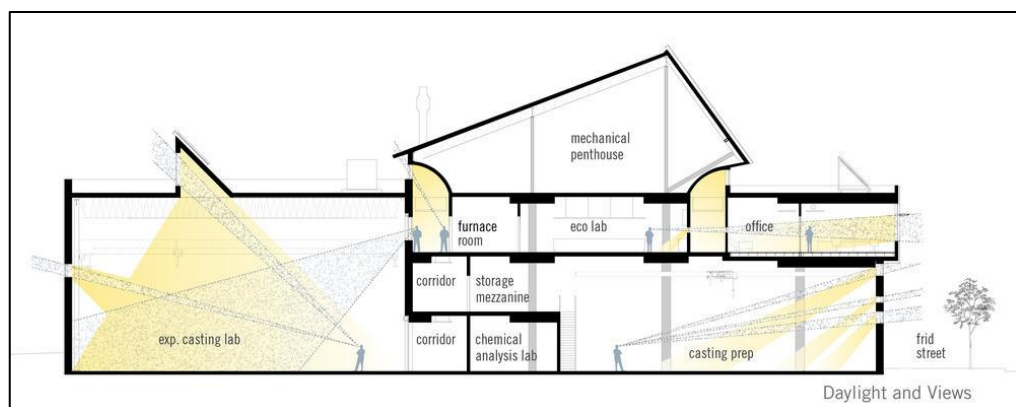


Figure 38 : une coupe montrant l'éclairage naturel et la visibilité au sein du bâtiment CANMET; source : the American Institute of architects (the American institute of architects)

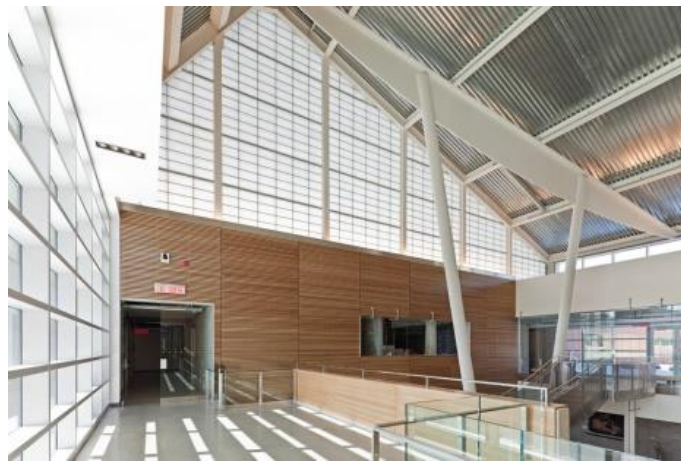


Figure 39 :atrium lumineux; source: the American Institute of architects (the American institute of architects)

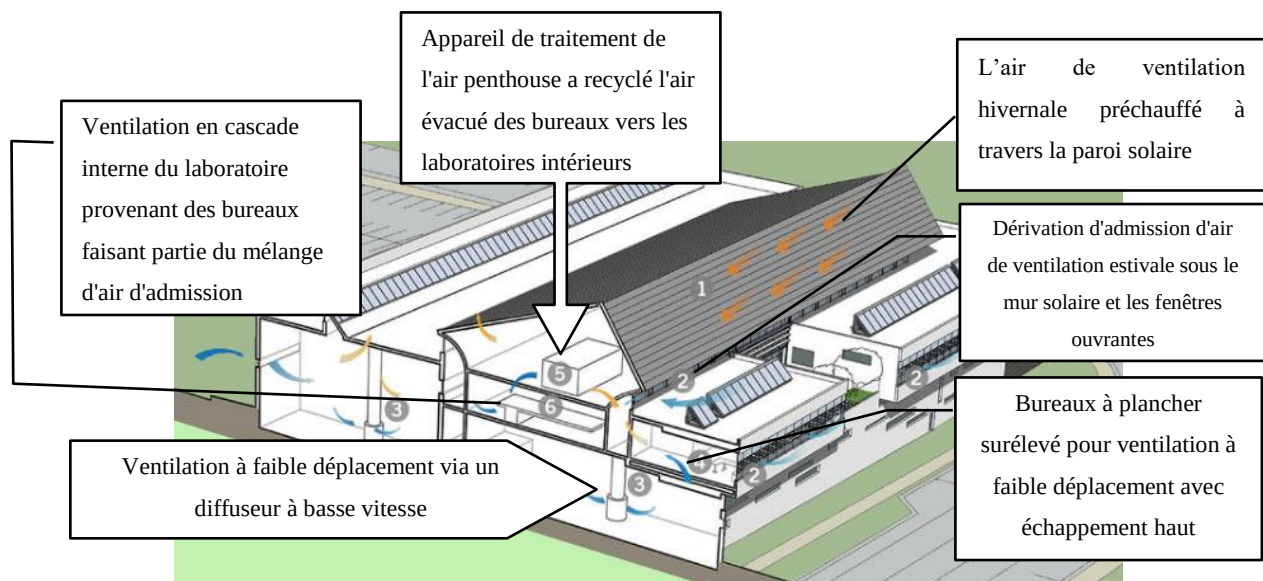


Figure 40 : stratégies de ventilation ; source : the American Institute of architects

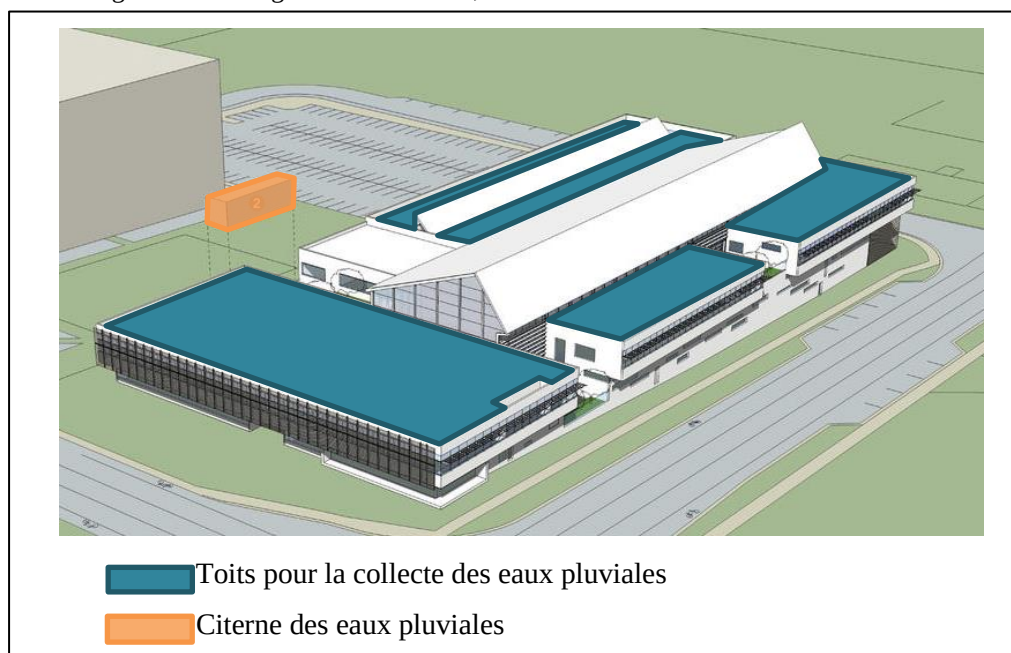


Figure 41 : Stratégie de réduction et de conservation de l'eau ; source : the American Institute of architects

Synthèse :

- Création une relation directe et forte entre les espaces d'activités d'architecture et de génie civil à travers une superposition ou bien la juxtaposition
- Création des espaces de détente et des espaces verts pour le rafraîchissement
- L'utilisation des matériaux locaux et recyclés
- Une bonne orientation du projet
- Exploitations des conditions climatiques (les principes environnementaux)
- L'exploitation des surfaces d'extrémités a des espaces de services (stockage, magasin,)

Conclusion

La définition des concepts que nous avons présentés a élucidé les différentes solutions architecturales, sans spécifier le climat et la nature du projet, tout cela nous a permis de mieux analyser les exemples des projets similaires, et de mieux justifier la méthodologie d'approche au projet. Après la compréhension du thème et l'analyse des exemples, il est clair que le rôle majeur d'un laboratoire de recherche en architecture et en génie civil, est d'accueillir les enseignants chercheurs, dans un environnement sain et confortable et de fournir une bonne ambiance du travail et de savoir, cela n'exclut en aucun cas son évolution et l'échange avec d'autres disciplines, les principales activités qui se déroulent dans cet édifice sont aussi bien diversifiées que les espaces eux-mêmes, elles permettent d'ébaucher les premières lignes, d'enrichir la forme géométrique, et d'arrêter un programme quantitatif et qualitatif du projet. Les principales activités sont :

- Réaliser des objectifs de recherche et de développement, effectuer des recherches scientifiques, assurer un environnement de travail et de recherche pour se documenter, créer, diffuser la pensée, et innover le progrès
- Exécuter des études et travaux de recherche, apprendre, diversifier les moyens de communication et de diffusion de l'information.
- Animer, faire connaître les axes de recherches et les disciplines étudiées à travers des conférences et des congrès, et encourager les nouvelles recherches.
- Contribuer à l'acquisition du savoir, à l'amélioration des connaissances ;
- La formation pour la recherche et à la diffusion de l'information scientifique et des résultats obtenus.

Chapitre II : Étude contextuelle

Introduction :

Le contexte de l'environnement joue un rôle très important dans le processus de la conception du projet ; Cette influence est transmise à travers une multitude de vecteurs ; qui font que la forme soit définie à travers la morphologie du site, la composition avec les éléments naturels du climat, et le voisinage. L'analyse contextuelle incite à connaître ces éléments importants du site : les conditions climatiques, la topographie du terrain, la typologie architecturale de la région, les voisinages, les besoins, les avantages et les contraintes ; pour les prendre en considération lors de la conception du projet, afin d'aboutir à une assiette d'intervention la plus appropriée à la compatibilité et la fiabilité du projet.

I. Échelle territoriale

I.1 Présentation de Laghouat :

La ville fait partie des villes du sud de l'Algérie. Elle est limitée par les villes suivantes : Au Nord : Tiaret Au Sud : Ghardaïa A l'Est : Djelfa A l'Ouest : El-Bayadh

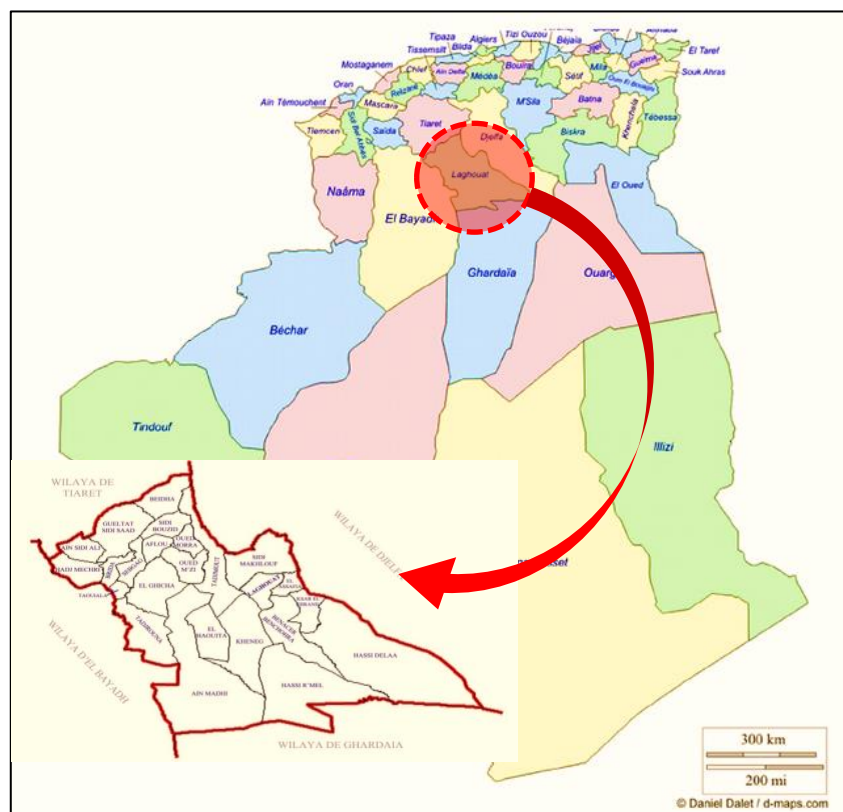


Figure 42 : Situation de la ville de Laghouat en Algérie.

La ville de Laghouat chef-lieu de la wilaya, est située à 400 km de la capitale Alger, .au piémont de l'atlas saharien du côté nord et plateau saharien du côté sud.

Les coordonnées géographiques de Laghouat sont : **33°47'59" Nord** de latitude et **2°51'54" Est** de longitude. Son altitude par rapport au niveau de la mer est **764 m.** (Les coordonnées géographiques de Laghouat, Algérie)



Figure 43 : carte de la ville de Laghouat.

1.1.1 Présentation climatique de ville de Laghouat :

Sur le territoire Algérien est caractérisé par 4 zones climatiques ; (A.B.C et D). La zone Laghouat se situe dans la zone D, des zones climatiques caractérisant le territoire algérien, appelée la zone pré- Sahara et Sahara. (voir Figure 44)

Cette zone est caractérisée par une température élevée dans la saison de chaud (max de 45°C) et un hiver tres froid, d'une humidité très réduite vers 20%.

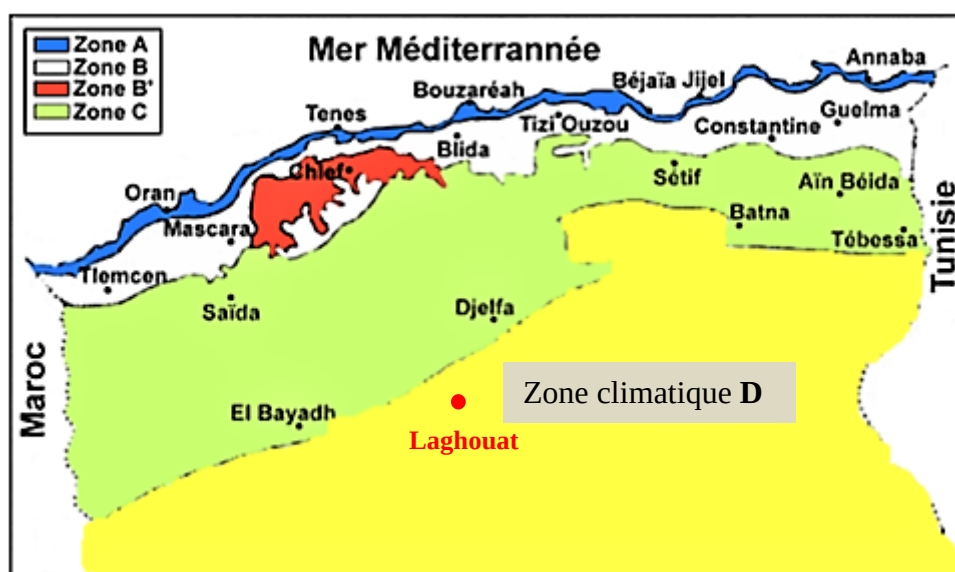


Figure 44 : Zonage climatique de Laghouat.

I.1.2 Le climat lumineux de Laghouat :

La ville de Laghouat se caractérise par un ciel clair et un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 42 Kilo lux.

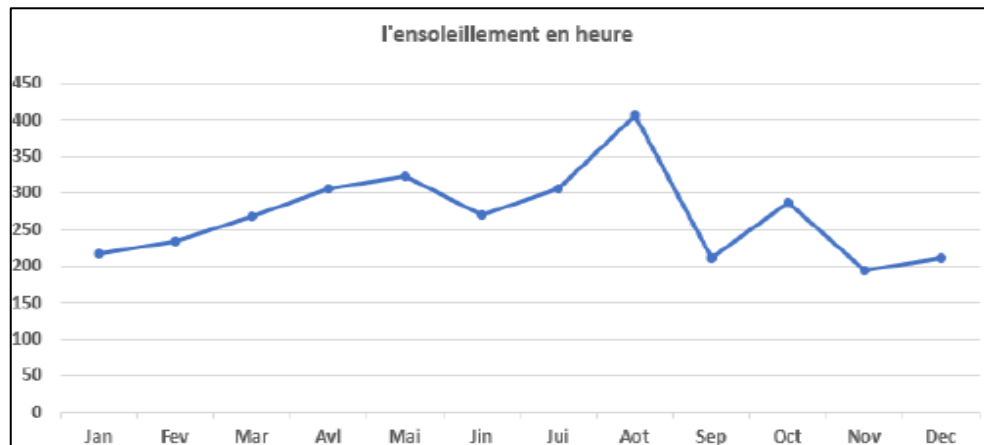


Figure 45: fréquence des cieux ensoleillés, 2014, Sources : La station météorologique de Laghouat.

I.1.3 La température :

La ville de Laghouat est connue par un été très chaud avec des températures moyennes max pouvant atteindre 31,6°C en période estivale et un hiver très rigoureux, la température moyenne min descend jusqu'à 7.5°C.

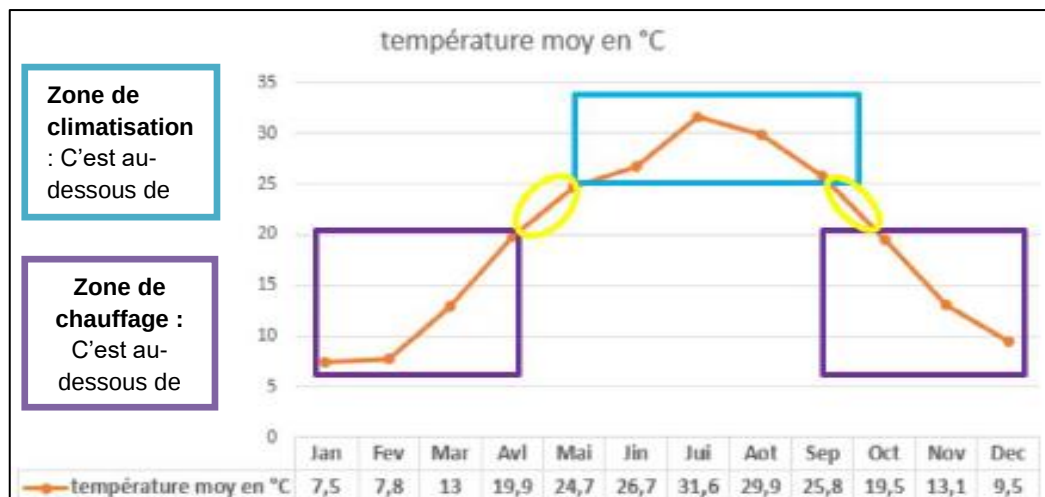


Figure 46 : Graphe des températures (2014-2015), Source : La station météorologique de la Laghouat, auteur

Zone de confort : C'est la zone ou les conditions de température pour lesquelles l'être humain est à l'aise et n'éprouve aucune sensation de gêne confort y est sans recours à la recommandation, ressenti principalement en mois de mai, octobre.

I.1.4 Le diagramme de Givoni :

Le diagramme psychrométrique de Givoni détermine les besoins du confort thermique, afin d'établir des solutions adéquates, pour rattraper les conditions de confort.

1- La zone de confort : « C »

- C'est la zone ou les conditions de température pour lesquelles l'être humain est confortable.
- Comprise entre 18.5°C et 23.7°C, le confort y est sans recours aux recommandations, ressenti principalement en mois de mai et octobre.

2- Zone de sous chauffent (Zone de chauffage) : « H »

- C'est la zone ou les conditions de température est très faible (besoin de chauffage mécanique), Comprise entre 8.3 °C et 10.3°C, ressenti en mois de janvier et décembre.

3- Zone d'influence d'inertie : « I » Elle est apparente essentiellement au printemps (février, mars et avril).

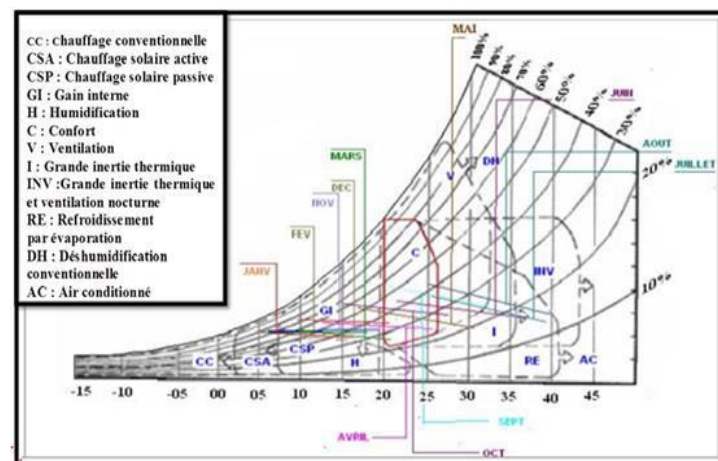


Figure 47 : Diagramme de Givoni de Laghouat ; source : Etude et évaluation du confort thermique.

I.1.5 Humidité :

Dans le mois de novembre on enregistre un taux d'humidité relative le plus élevé (60%), et le plus bas (16%) pendant le mois de juillet.

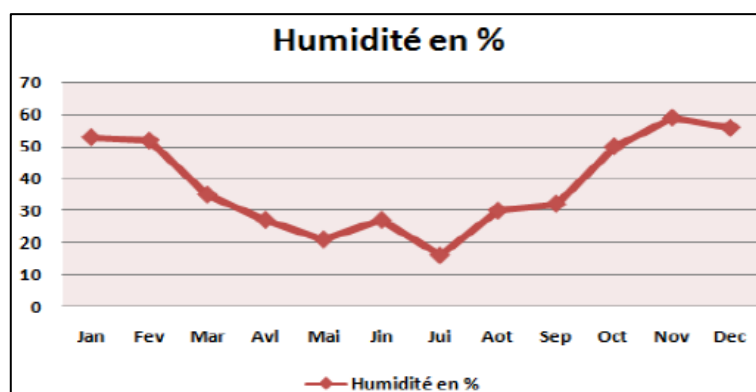


Figure 48 : Graphe de l'humidité. Annuelle 2015, Source : La station météorologique de la Laghouat

I.1.6 La précipitation :

La pluviométrie est très faible : peu de pluie (inférieur à 200 mm en moyenne)

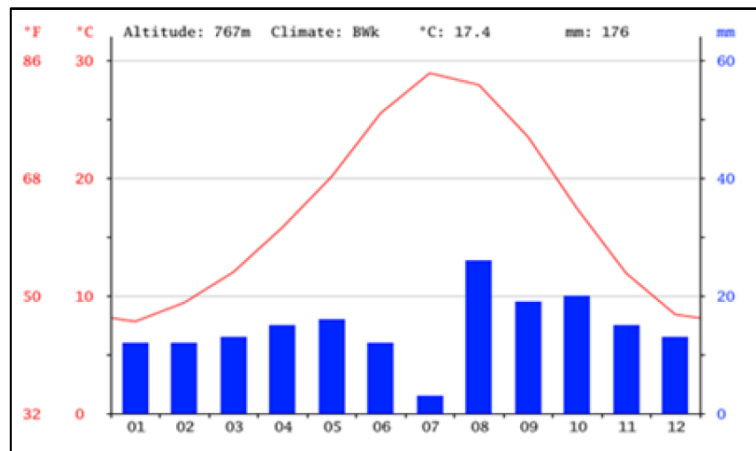


Figure 49 : pluviométrie annuelle de la ville de Laghouat ; **source** : station de météo-2015 - Laghouat

I.1.7 Les Vents :

Les vents en hiver sont de direction NORD-OUEST ceux de l'été sont de direction SUD-OUEST, sous forme de siroco.

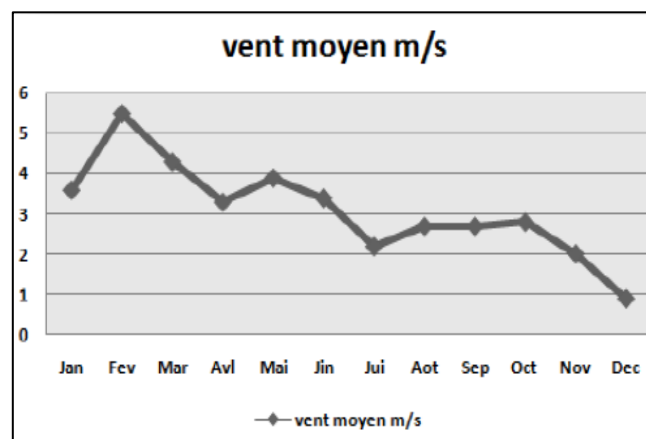


Figure 50 : moyens de vent de la ville de Laghouat 2015, Source : La station météorologique de Laghouat

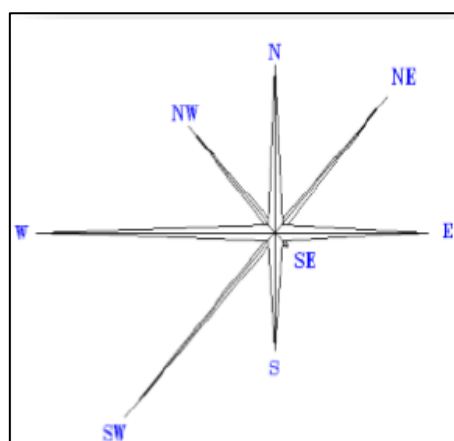


Figure 51 : Rose des vents. Source : la station météorologique de Laghouat (Année 2010)

II. Échelle urbaine :

II.1 Evolution urbaine de la ville de Laghouat :

La ville de Laghouat a connu plusieurs phases de développement urbain.

La 1ère phase : l'ancienne ville, qui est caractérisée par un tissu compact (voir Figure 53)

La 2ème phase : les lotissements et les Z.H.U.N 01et Z.H.U.N 02. Après le dédoublement de la ville par un axe structurant RN01.

La 3eme phase : lotissements de l'OASISNORD. et des nouveaux quartiers.

La 4eme phase : l'extension vers l'Ouest et l'apparition des nouveaux lotissements Tels que WEAM.

La 5eme phase : future extension.

La 6eme phase : extension « EL MARDJA ».

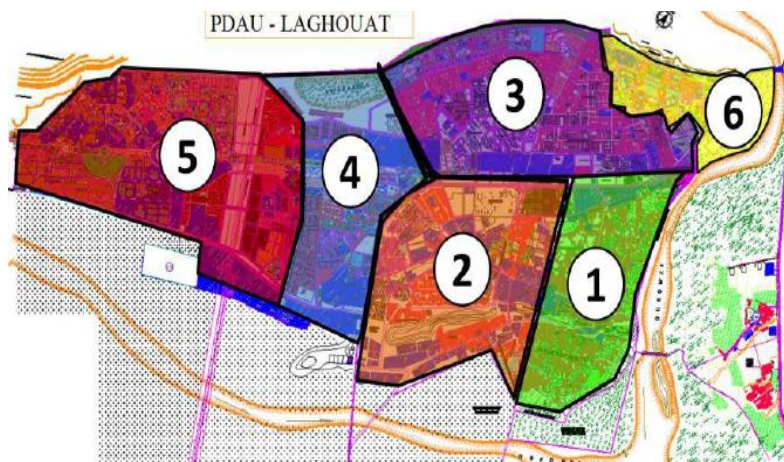


Figure 52 : Les différentes phases de développement urbain de la ville. Source : (P.D.A.U) de Laghouat révision 2012.

II.2 La typologie architecturale de la ville de Laghouat :

Le style architectural de Laghouat est caractérisé par :

- Tissu compact en forme pyramidale pour diminuer les surfaces exposées à l'ensoleillement et de se protéger contre les vents.
- Les constructions ont été implantées sur les oasis « les palmeraies » et l'eau (‘‘Ghout ’’ maison entourée de jardins). L'intimité et la spécificité de la maison (la skiffa).
- L'utilisation des couleurs claires pour se protéger des fortes chaleurs et réfléchir le rayon solaire.



Figure 53 : L'ancien tissu urbain présente un tissu compact.

II.3 Les éléments architectoniques de la ville de Laghouat :

Le style architectural qui caractérise la ville de Laghouat est doté par quelques éléments architectoniques issus des paramètres climatique et culturels de la ville, tel que le patio, les arcades, les claustras, la terrasse accessible et la mezzanine. (Voir Figure 54).

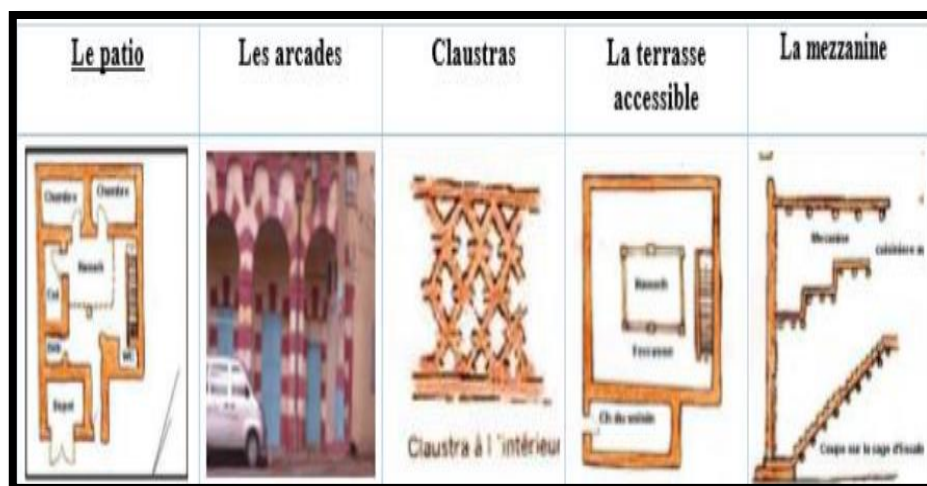


Figure 54 : Les éléments architectoniques de Laghouat.

II.4 Les atouts de la ville de Laghouat :

Laghouat est une ville riche en patrimoine culturel et naturel, en plus des équipements et des infrastructures importants comme l'aéroport, une université multidisciplinaire, un centre de recherche en science islamique à l'échelle nationale, les pôles universitaires, dont l'université Amar Telidji de Laghouat contient 24 laboratoires de recherche. Ils couvrent l'ensemble des domaines scientifiques qui mobilisent 489 chercheurs, enseignants chercheurs et doctorants. (Laboratoires de recherches).

III. Echelle locale

III.1 Situation du site par rapport à la ville :

Le site est situé à la nouvelle extension de la ville de Laghouat dans le campus universitaire

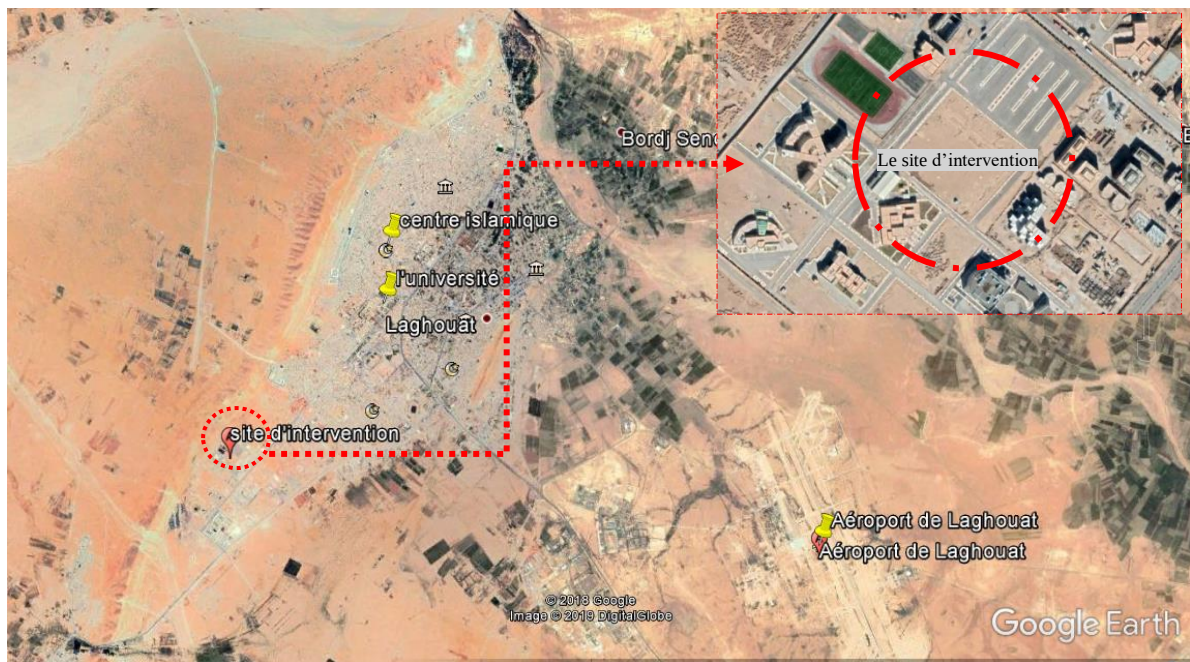


Figure 55 : la localisation du site d'intervention par rapport à la ville.

III.2 Les potentialités du site :

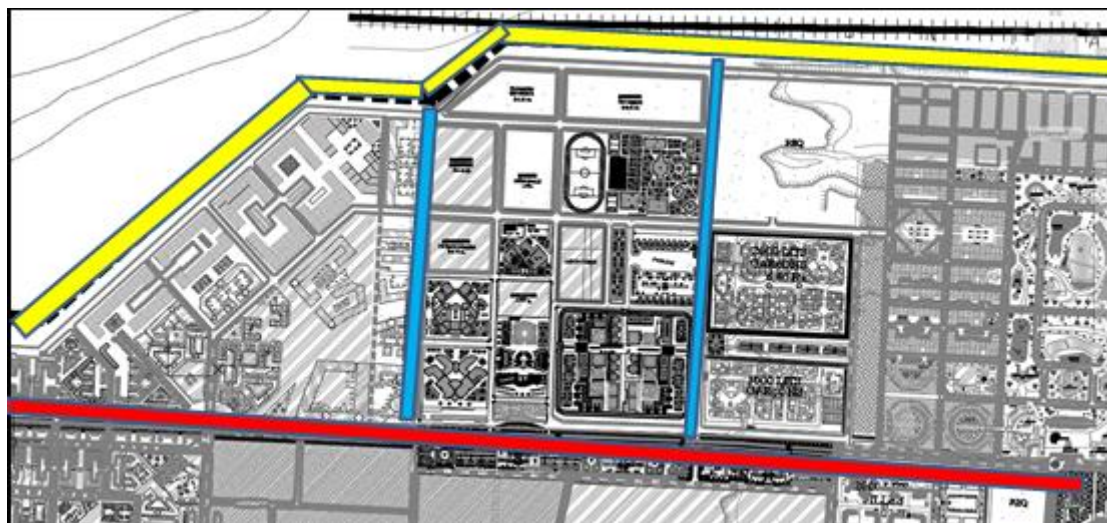
La réalisation d'un laboratoire d'architecture et de génie civil dans le nouveau pôle universitaire nous semble très utile, il contribuera au développement de l'apprentissage au sein de l'université et à sa rentabilité en matière de production scientifique.

Nous avons retenu ce site afin de recevoir notre projet pour les raisons ci-dessous :

- L'importance d'un laboratoire au niveau du nouveau pôle universitaire, surtout qu'on ne dispose pas d'un laboratoire de recherche pour les deux départements d'architecture et de génie civil ;
- La proximité du site par rapport aux départements ;
- La superficie que nous jugeons suffisante pour accueillir les différentes activités scientifiques du projet ;
- L'accessibilité au site ; Le projet sera bien desservi du côté du parking ce qui permettra l'accès facile des véhicules, et des usagers des côtés des deux départements.

III.2.1 Accessibilité

Le site est bien desservi des voies mécaniques, et qui dispose d'un parking juste à côté.



Voie tertiaire Voie principale Voie secondaire

III.2.2 Les voisinages

Les bâtiments du voisinage sont de R+1 à R+3, avec des baies vitrées de forme carrée, sauf pour le département d'architecture où elles prennent la forme rectangulaire, on remarque qu'elles sont toutes symétriques par rapport à l'accès du bâtiment, (voir les figures ci-dessous.)



Figure 57 : quatorze laboratoires en R+2.



Figure 56 : Administration R+1



Figure 58 : Bibliothèque R+2



Figure 60 : Département d'architecture R+3



Figure 59 : Département de technologie R+2

III.2.3 La forme de l'assiette

Le site est carré, il est de 143,88 m par 153,22 m.



III.2.4 Typologie et climatologie du terrain d'intervention

Le terrain est relativement plat avec une pente de 1,29 %. Le terrain a une forme carrée (voir Figure 61 et Figure 62). Les vents sont de directions différentes : ceux du siroco proviennent du côté Sud-ouest, les vents froids du côté nord-ouest, et les vents chauds du côté sud-est (voir Figure 63).



Figure 61 : photo prise du terrain d'intervention.



Figure 62 : l'assiette de l'implantation du projet avec le trajet solaire d'été et d'hiver.

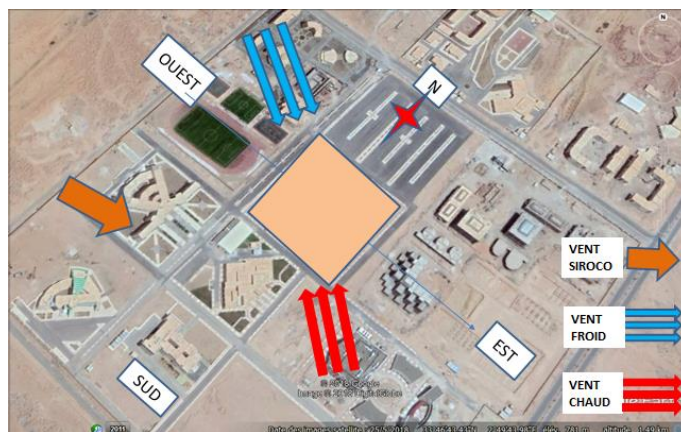


Figure 63 : vents dominants.

Synthèse :

Après l'étude contextuelle de la ville et l'analyse du site nous avons pu tirer quelques recommandations :

- Le bon choix de l'endroit de l'implantation du projet par rapport au site (soit à proximité des deux départements et le parking) ;
- Le choix de l'accès principal (pour les étudiants, les enseignants et les employeurs,) du côté des départements d'architecture et de génie civil) ;
- Le choix de l'accès secondaire pour le stockage du côté de parking et département de génie civil ;
- S'inspirer de quelques éléments architecturaux de la ville tel que : le patio et les arcs.

Nous avons d'autres recommandations par rapport au climat et la forme du projet :

- La partie sud (du côté du département d'architecture) est très exposée au soleil, c'est pourquoi on prévoit de la protection solaire (soit des éléments de la façade qui ont un double rôle : à la fois décoratif et de protection) ;
- Utilisation des décrochements et des jeux des volumes ainsi que de la végétation pour créer de l'ombre ;
- Utilisation des couleurs claires pour réfléchir le maximum des rayons solaires ;
- Création de micro climat à travers l'utilisation des jets d'eau et de la végétation ;
- Profiter des éléments du climat de la ville et les rendre bénéfiques comme le soleil, par l'intégration des panneaux photovoltaïques ;
- Utilisation des formes curviligne pour diminuer la vitesse des vents ;
- Utilisation des matériaux locaux qui ont un bon comportement thermique.

Chapitre III : Étude programmatique.

Introduction

À l'origine de tout projet se trouve l'expression d'un besoin. Cette expression exige, au point de départ, une analyse d'exigences ; le produit final de l'analyse étant un programme.

Ce programme décompose un ensemble d'exigences en sous-ensembles successivement plus restreints. C'est un instrument de réflexion qui fournit une série de sous-problèmes plus simples que le problème d'ensemble et peut indiquer dans quel ordre les résoudre (notion d'inventaire et de moyens disponibles). Il détermine :

- **Des exigences quantitatives de tous ordres**, d'abord activités, surfaces, hauteurs, mais aussi rapport de proximité ou d'éloignement, éclairage, chauffage, ventilation, climatisation, acoustique, etc. ;
- **Des éléments qualitatifs**, qui doivent permettre à l'auteur du projet de se faire une idée des souhaits subjectifs du « client » ;
- Mais il est aussi porteur **d'éléments symboliques**, au-delà des sensations perceptibles (de BEAUVAIS).

I. Principe de programmation adopté dans notre travail

Pour élaborer le programme du projet nous avons passés par trois étapes essentielles :

La première c'est la recherche thématique, dont nous avons illustré les concepts clés à définir pour fonder le chemin de notre objectif du travail, et pour enrichir nos connaissances autour de la thématique, ce qui façonne la première partie de la conception de notre projet, ensuite l'analyse des exemples qui nous a aidés à tirer profits des éléments essentiels qui composent le programme spatial et fonctionnel du projet. Et en dernier lieu l'étude contextuelle, à travers laquelle nous avons pu définir les données du site et les besoins du projet du point de vue fonctionnelle et environnementale

Alors le programme de construction que nous avons établi doit définir :

- L'objectif du projet; qui est un laboratoire de recherche ;
- Définir les différentes activités menées à l'intérieur, les besoins quantifiés de surface, volumes et liaisons fonctionnelles ;
- Les données du site, topographie, études du sol, climatiques, des voies et réseaux existants.

II. Analyse des besoins

Un laboratoire de recherche est une composante fondamentale de l'université tant sur le plan de la recherche et du développement que sur la formation. Leur Mission est de réaliser des objectifs de recherche et de développement, exécuter des études et travaux de recherche et contribuer à l'acquisition du savoir, à l'amélioration des connaissances, la formation pour et par la recherche et à la diffusion de l'information scientifique et des résultats obtenus. Et selon le site internet de l'université de Laghouat, un laboratoire de recherche doit être constitué d'au moins quatre équipes de recherche, chacune est constituée d'au moins trois chercheurs dont le chef d'équipe. (LABORATOIRES DE RECHERCHES)

Les besoins minimaux du laboratoire

En supposant que la faculté d'architecture dispose de trois spécialités :

- Architecture et environnement ;
- Urbanisme et ville durable ;
- Patrimoine architecturale.

Ainsi pour la faculté de génie civil avec trois spécialités de recherche :

- Génie civil ;
- Matériaux et réhabilitation de structures ;
- Ressources Hydriques sol et environnement.

Selon le site de l'université Amar Telidji : Chaque spécialité doit contenir au moins 4 équipes de recherche, et chaque équipe contient au moins 3 chercheurs, c'est sur base que nous avons effectué le calcul les besoins des laboratoires pour la programmation.

III. Le programme proposé :

Les tableaux montrent le programme du projet, ils ont été établis, en s'inspirant des exemples analysés et développé par une recherche auprès du secteur.

III.1 Programme qualitatif :

III.1.1 Accueil

Accueil				
Fonction	<u>Réceptionner :</u> La réception constitue le moment fort de l'accueil des visiteurs. <u>Orienter :</u> Pour offrir la faculté de se déplacer sans se perdre, les cheminements doivent être étudiés pour être facilement perçus et lus			
Localisation	Son positionnement central permet d'assurer la distribution vers les différentes entités de la médiathèque			
Confort et ambiance	Éclairage : 300 à 500 lux	Niveau acoustique : 40 dB	Débit de l'air : 18m3/h/pers	Confort Thermique : De 21 à 26 °C

III.1.2 L'entité administrative :

Secrétariat				
Fonction	La réception des visiteurs.			
Localisation	A proximité du bureau de directeur.			
Confort d'ambiance	Éclairage : 300 lux	Niveau Acoustique : 40 dB	Débit d'air : 18m3/h/pers.	Confort Thermique : 21à26 °C
Bureau				
Fonction	Un lieu de travail pour l'équipe des laborieux			
Localisation	Une liaison (visuelle au moins) avec la cour			
Confort et ambiance	Éclairage : 300 lux	Niveau acoustique : 40 dB	Débit d'air : 18m3/h/pers.	Confort thermique : 21à26 °C
Archives				
Fonction	Lieu de stockage des archives de la médiathèque			
Localisation	Indifférente.			
Confort et ambiance	Éclairage : 400 lux	Niveau acoustique : 40 dB	Degré hygrométrique : 55 %	Confort thermique : 17a18 °C

III.1.3 Entité d'animation et diffusion :

Auditorium				
Fonction	Cet espace accueille les conférences sur différents domaines de communication, pour recevoir des réunions, conférence, fêtes, spectacle et des projections.			
Localisation	Positionnement permet d’assurer la distribution vers les différentes entités avec une sortie vers l’extérieur			
Volumétrie	-Grande salle disposant d’un hall d’accueil directement accessible de l’extérieur. -Une salle étroite et haute du côté de la scène et s’élargissant en allant vers le fond, avec des murs articulés (pour les reflations initiales latérales) -Près de la scène il faut des écrans de reflation pour les reflations initiales précoces. - Le fond de la salle ne doit pas provoquer de reflations vers la scène qui pourraient se manifester sous forme d’écho.			
Exigences particulières	• La bonne visibilité • La pente est nécessaire pour la visibilité • Isolation acoustique de l’auditorium. • Perméabilité par rapport à l’ensemble des espaces du laboratoire de recherche			
Confort et ambiance	Éclairage : 100 lux	Niveau Acoustique : 49 dB	Débit d’air : 18m3/h/pers.	Confort Thermique : 21à26 °C
Équipement	Scène, des sièges, Les rideaux, les stores, les éléments de décoration ou d’habillage flottants			
Exposition permanente				
Fonction	Introduisant les différents moyens pour la production d’énergie renouvelable elle est dotée d’un point d’information afin de réserver la meilleure instruction au visiteur.			
Localisation	Située au niveau RDC			
Exigences particulière	• Isolation phonique des locaux. • La bonne visibilité			
Confort et ambiance	Éclairage : 500 à 700 lux	Niveau acoustique : 40 dB	Débit d’air : 18m3/h/pers.	Confort thermique : 21 à 26 °C
Équipement	Panneaux d’affichage Et matériel			
Atelier				
Fonction	Pour les travaux de recherche.			
Localisation	Indifférente.			
Exigences particulières	• Espace d’entretien aisé. • L’ambiance acoustique et lumineuse doit être similaire			
Confort et ambiance	Éclairage : 400 à 600 lux	Niveau acoustique : 40 dB	Debit d’air : 18m3/h/pers	Confort thermique : 21 à 26 °C
Laboratoire				
Fonction	Pour les travaux de recherche.			

Exigences particulières	• L'ambiance acoustique, respiratoire et lumineuse doit être similaire • Bonne organisation du mobilier par rapport à l'éclairage. • Le besoin d'une bonne séparation entre les plans de travail. • Le confort pour les utilisateurs • Le traitement des façades et des fenêtres : par un double vitrage, double fenêtre et ceux- ci ont plutôt des qualités thermiques • Elle sera invisible par le public			
Confort et ambiance	Eclairage : 450luxà625lux	Niveau acoustique : 40 dB	Débit d'air: 20m3/h/per s	Confort thermique : 21 à 25 °C
Bibliothèque				
Fonction	La salle de lecture représente l'espace principal de la bibliothèque, autoriser l'élaboration d'une stratégie spatiale. Susceptible de mettre en contact ou d'éloigner certaines catégories de lecture.			
Localisation	Positionnement permet d'assurer la distribution vers les différentes entités			
Volumétrie	Grande salle avec une grande hauteur			
Exigences particulières	• Isolation phonique • Les rayons du soleil ne doivent pas pénétrer dans la salle. • La salle de lecture est orientée sud, la solution est d'avoir un éclairage zénithal qui permet la pénétration de la lumière blanche du nord. • Le traitement des façades et des fenêtres : par un double vitrage, double fenêtre et ceux- ci ont plutôt des qualités thermiques			
Confort Et ambiance	Éclairage : 500 à 700 lux	Niveau acoustique : 30à60 dB	Débit d'air : 45m3/h/pers	Confort thermique : 20 °C
Équipement	Bureau de la bibliothécaire, Tables, Chaises, Comptoir de prêt.			
Salles d'informatique				
Fonction	L'espace périodique est toujours flexible et il a des casiers spéciaux pour périodiques, tables plus longues que dans les salles de lectures pour une même surface, à côté, pièce pour les vieux numéros non encore reliés.			
Exigences particulières	• Bonne organisation du mobilier par rapport à l'éclairage. • Le besoin d'une bonne séparation entre les postes. • La nécessite d'un espace de circulation. • La pose des stores ou de rideaux spéciaux favorisera aussi la rétroprojection • Utilisation d'un éclairage artificiel. • La bonne aération.			
Confort et ambiances	Éclairage : 300 lux	Niveau acoustique : 30 à 60 dB	Débit d'air : 45m3/h/pers.	Confort Thermique : 21a26 C

III.2 Programme quantitatif

Fonction	Espace	Surface (m ²)	Nombre	Surface totale (m ²)
Accueil	Hall	130	1	130
	Accueil	80	1	80

	Aire d'exposition	530	1	530
Administration	Bureaux directeur	20	1	20
	Secrétaire de la direction générale	12	1	12
	Bureaux de comptabilité	15	1	15
	Bureaux de service de coordination	15	1	15
	Bureaux des assistants et des conseillers techniques	15	1	15
	Salle de réunion	70	1	70
	Archive	12	1	12
	Salle d'attente	20	1	20
	Sanitaire	1,5	4	6
Surface totale : 185				
La Recherche	Réception	15	4	60
	Attente	20	4	80
	Bureaux des responsables des laboratoires	45	4	180
	Bureaux de secrétaire	25	4	100
	Archives	15	4	60
	Bureaux de la gestion	25	3	70
	Bureaux des chercheurs	25	14	350
	Laboratoire	60	17	1020
Surface totale 1920				

Synthèse :

L'étude programmatique est une démarche obligatoire avant d'entamer la conception de n'importe quel projet, cette démarche nous a permis de savoir les exigences du projet qu'elles soient quantitatives ou qualitatives. Dans ce chapitre nous avons essayé d'illustrer les objectifs de notre

Chapitre 1II : étude programmatique.

projet, de cibler ses exigences et de mettre en garde son contexte, afin de faire sortir en synthèse un tableau de programme quantitatif et qualitatif du projet, pour que dans le chapitre suivant nous passerons à l'étude architecturale du projet et à la disposition de ses activités en se basant sur le programme élaboré dans le présent chapitre.

Chapitre IV

: Étude architecturale.

Introduction :

Après l'étude (thématique, et conceptuelle), nous présentons notre projet de laboratoire de recherche d'architecture et de génie civil, la conception a été basée sur les conclusions et les recommandations obtenues des chapitres précédents, ce qui est justement le résultat de notre travail du projet de fin d'étude.

I. L'état du lieu :

Le site est localisé à la nouvelle extension de la ville de Laghouat au sein du campus universitaire

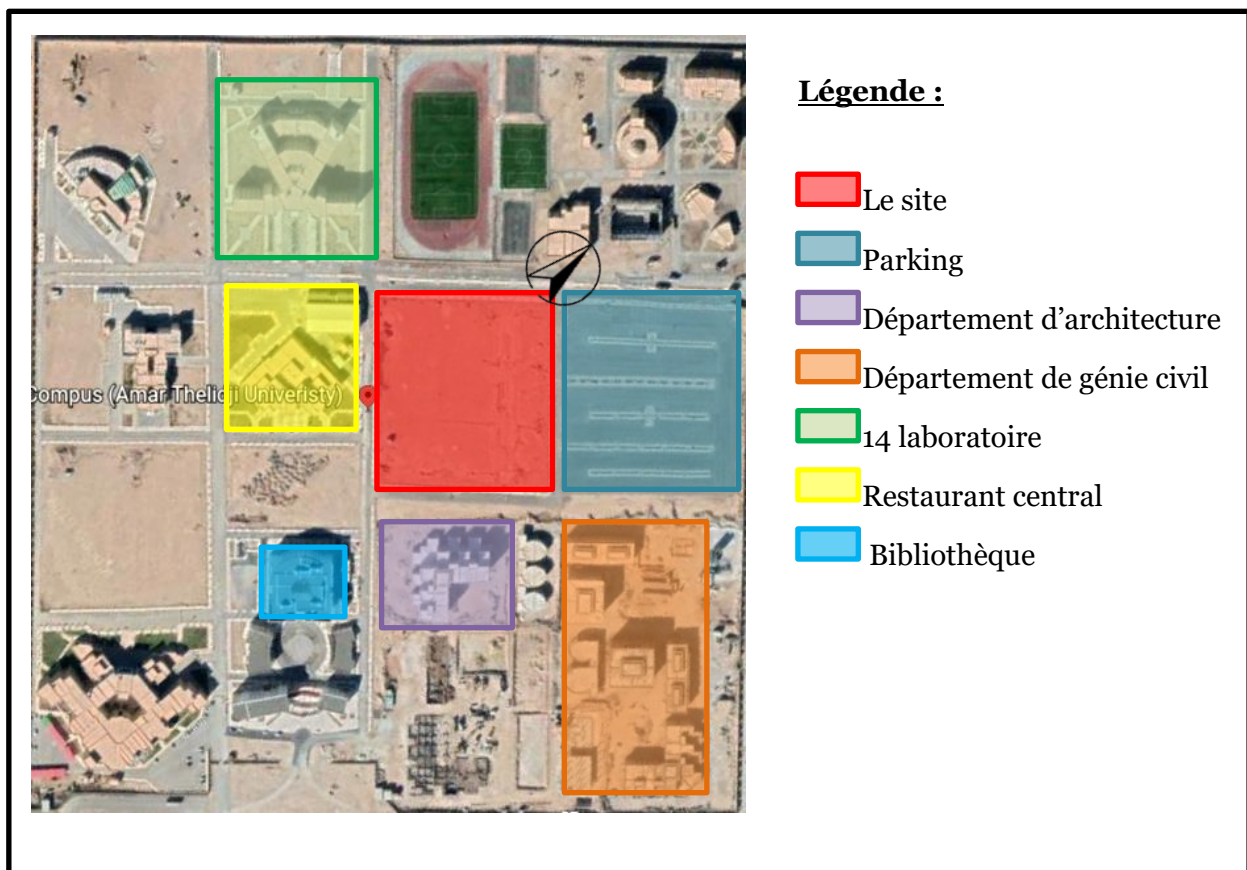


Figure 64 : l'état du lieu, source : Google earth.

II. Genèse du projet :

Etape 01 : choix des accès et mode d'occupation :

- A. Créer un accès principal à côté du flux des usagers (département d'architecture et département de génie civil), et un accès secondaire à la partie ouest du terrain pour que le projet soit accessible et en fin un accès de service en articulant le projet avec le parking existant.
- B. Positionner la masse du projet à la partie est pour articuler le projet avec les deux départements. (voir Figure 65).

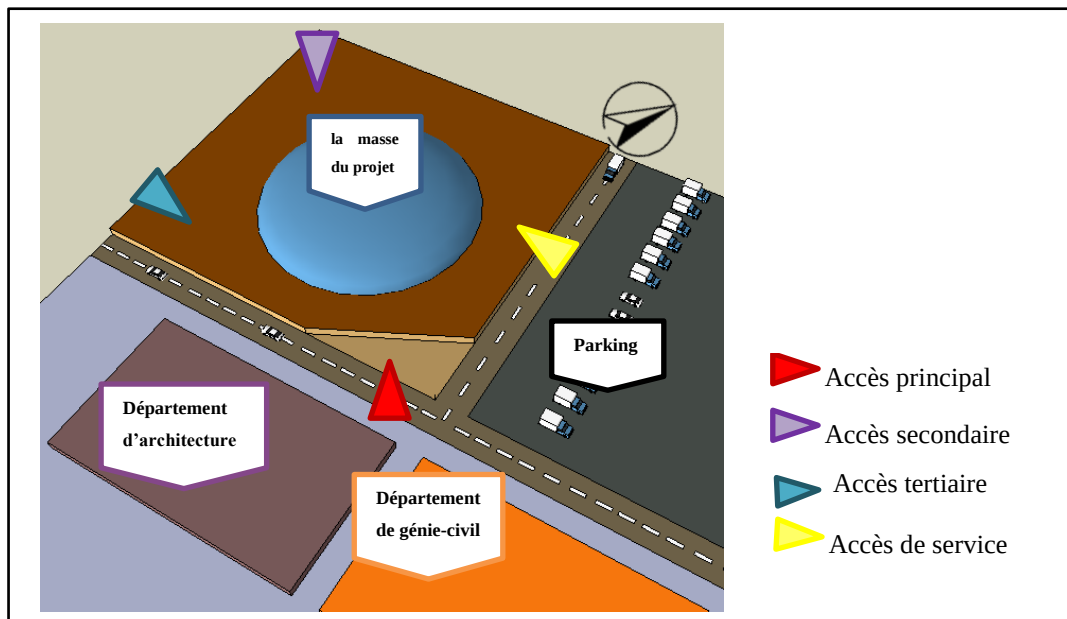


Figure 65 : choix des accès et mode d'occupation, source : l'auteure.

Etape 2 : formulation :

Créer un espace d'accueil à l'entrée et un espace privé d'essai dans la partie postérieure.

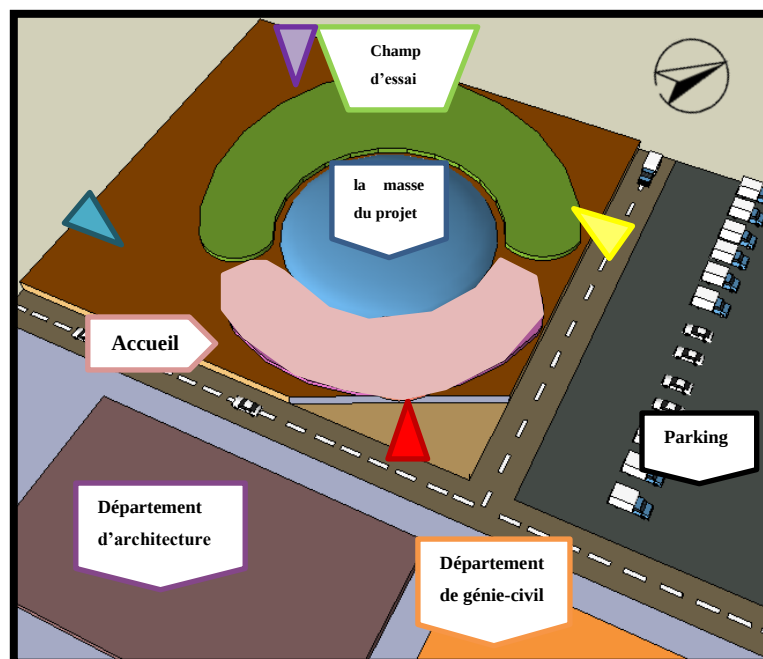


Figure 66 : formulation ; source : l'auteure

Etape03 : orientation :

- A. Orientation et protection de l'espace bâti et création d'un espace protégé.
- B. Orienter l'espace le bâtiment Nord Sud pour :
 - 1) Profiter de l'éclairage.
 - 2) Du côté sud la façade est facile à protéger, et profiter de l'effet de serre dans la période hivernale.
- D) Entourer l'espace bâti par des arbres à feuilles caduques du côté sud et par des arbres à feuilles persistantes du côté nord pour dévier et briser les vents froids d'hiver et créer de l'ombre en été, afin d'avoir un espace protégé.
- E) Créer un patio à l'intérieure du bâti. (Voir Figure 67).

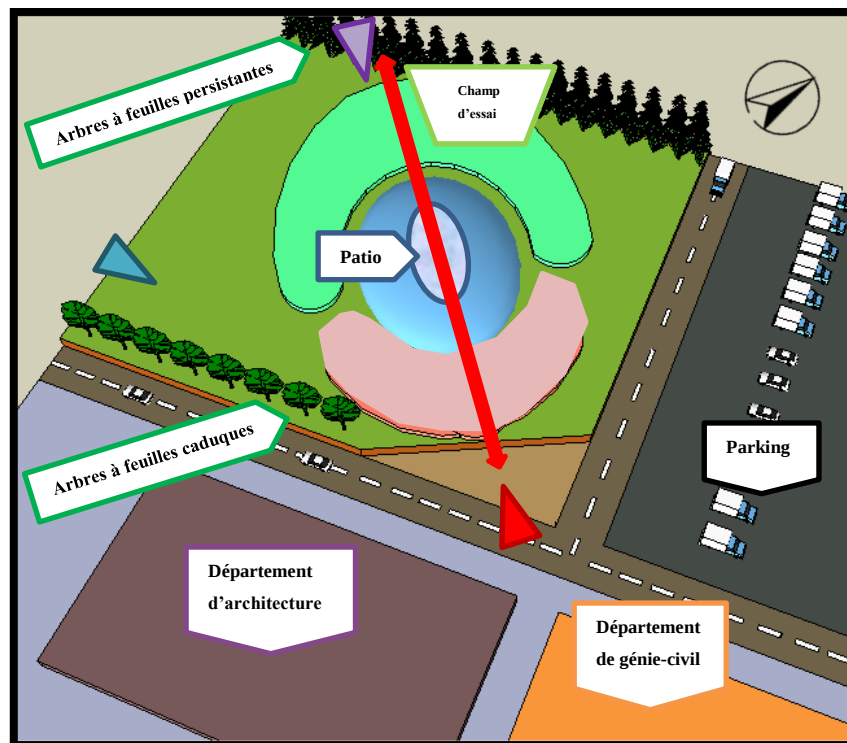


Figure 67 : orientation ; source : l'auteur

Etape04 : zoning :

Le zoning est effectué par entité, nous avons créé deux grandes parties qui sont celle de l'architecture avec toutes activités du côté sud et celle du génie civil du côté nord, avec des entités communes au centre, comme l'entité d'accueil, de service et administrative, la bibliothèque, la salle de conférence, le patio situés au milieu, c'est derniers représentent la séparation et l'articulation entre les deux parties, la partie architecturale possède une extension vers le champ d'essai, chaque partie possède une extension vers un champ d'essai.

Au niveau de la partie postérieure on a aménagé un espace de repos et de détente et loisir pour séparer les 2 champs d'essais ; La partie frontale sera utilisée comme un espace d'accueil, espace d'exposition temporaire (Voir Figure68)

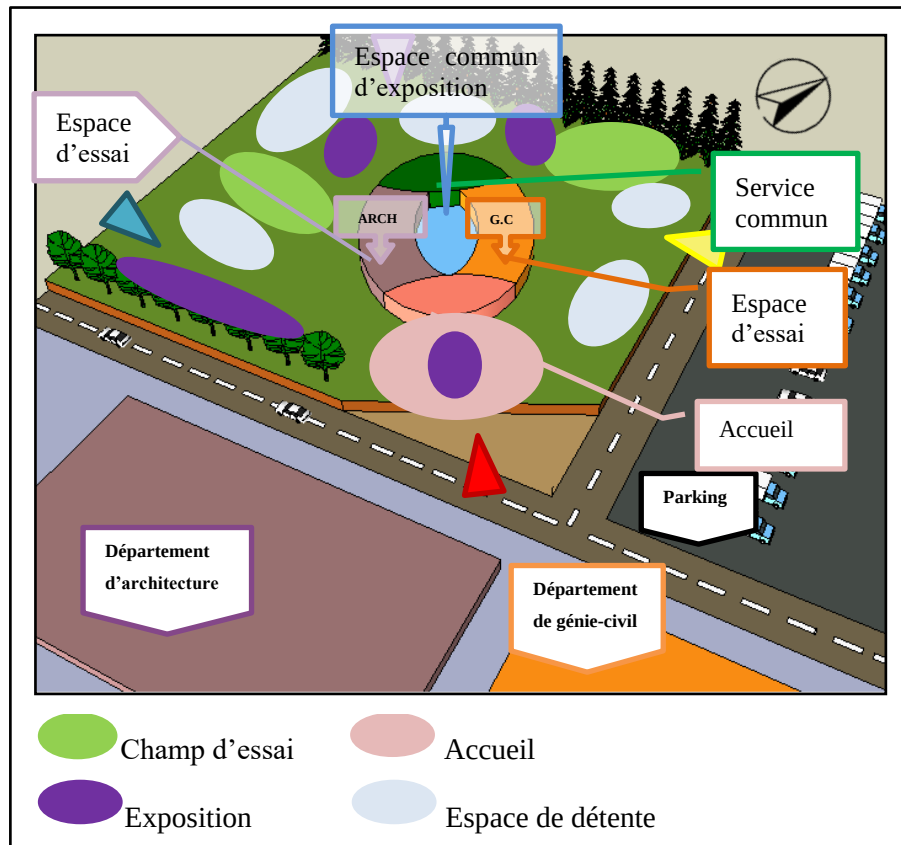


Figure 68 : Le zoning ; source : l'auteur

Etape05 : sous-zoning :

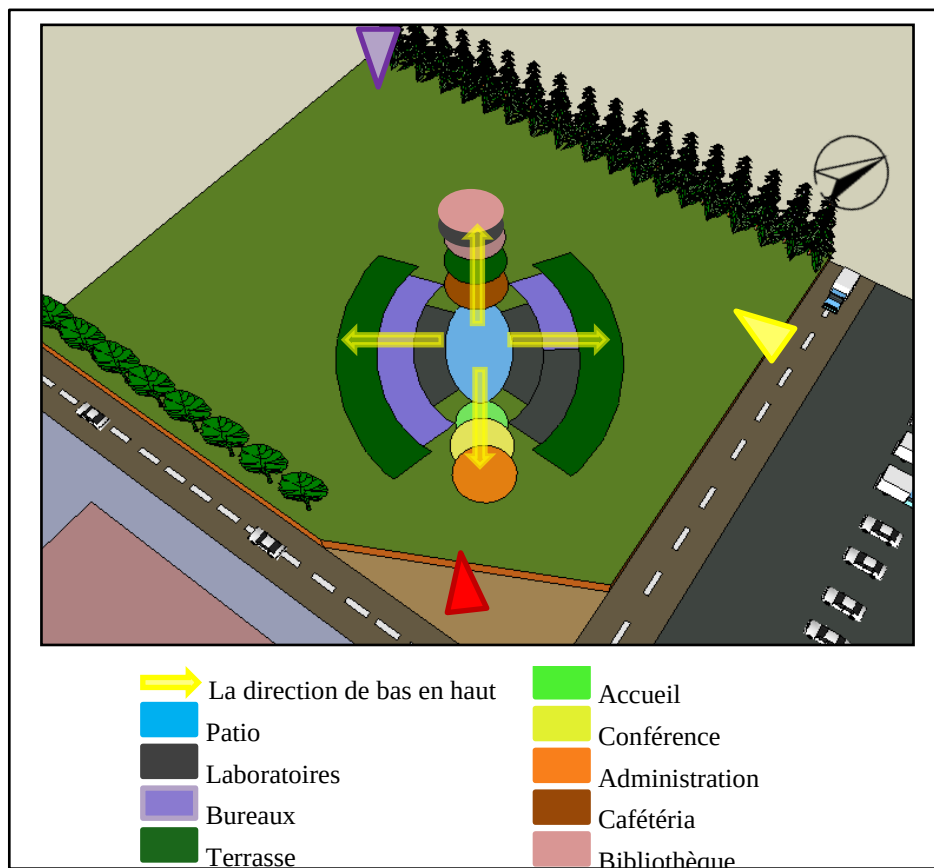


Figure 69 : sous-zoning ; source : l'auteur.

III. L'idée du projet :

La forme est composée de trois parties (architecture ; génie-civil et une partie commune.), Elle exprime une intégration structurale qui présente la coopération entre l'architecture et le génie-civil, deux domaines complémentaires et qui travaillent parallèles.

Notre projet symbolise trois valeurs essentielles : (la beauté, la stabilité et l'utilité) :

- 1) **La beauté** : c'est la partie architecture une forme organique qui exprime la fluidité, la liberté de la forme et la souplesse.
 - 2) **La stabilité** : c'est la partie de génie-civil, une forme qui indique la rigidité, la régularité, avec des formes rectilignes qui expriment la stabilité.
 - 3) **L'utilité** : c'est la partie centrale où se trouvent les espaces communs et surtout le patio et la bibliothèque qui sont deux espaces essentielles pour les deux parties majeures, et c'est là où les deux grandes parties peuvent se joindre facilement.
- Le patio alimente, aère et assure l'énergie pour tous les espaces intérieurs des deux parties, afin d'assurer une bonne ambiance intérieure et des conditions sanitaires favorables (ce qui améliore le confort des usagers favorise le bon rendement et les bons résultats)
 - La bibliothèque : est un espace de savoir commun, elle exprime le cœur de la recherche et de la science, elle l'est la base d'interdisciplinarité et la multidisciplinarité dans toutes les spécialités.
 - La cafétéria : un espace commun pour la détente et le repos.

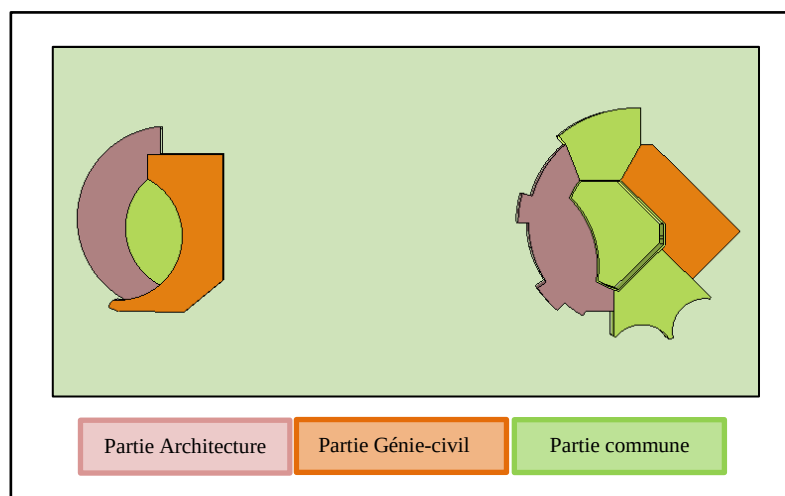


Figure 70 : schéma de l'idée du projet et la forme finale ; source : l'auteure

L'idée initiale du projet a été réalisée en quatre étapes (voir Figure 71) :

1. La forme d'ellipse est obtenue de l'orientation nord/sud de la masse du projet ;
2. L'utilisation de la métaphore, en divisant une ellipse en trois parties signe de coopération ;
3. La partie d'architecture est marquée par une forme fluide, la partie de génie-civil et représentée par une forme rectiligne ;
4. Pour simplifier la forme, une soustraction a été appliquée du côté de génie civil.

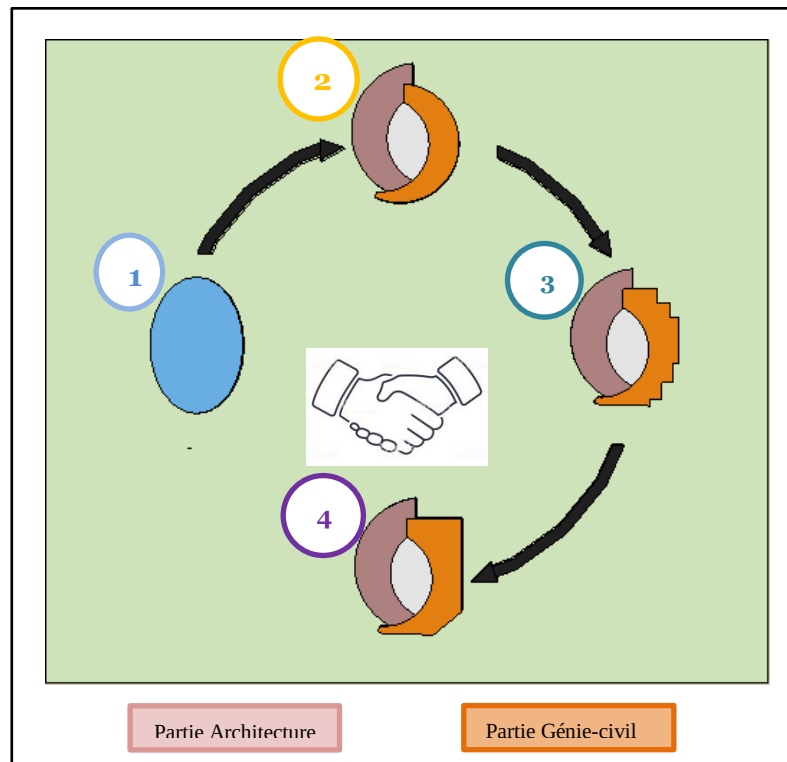


Figure 71 : schéma représentant l'idée du projet ; source : l'auteur

Etape06 : Forme et fonction :

Une forme arrondie du côté sud pour dévier les vents chauds et le siroco, ce qui minimise les déperditions thermiques et aide à profiter le maximum des rayons solaires

Nous avons opté pour les décrochements pour gérer les flux (hiérarchisation des parcours) et créer de l'ombre.

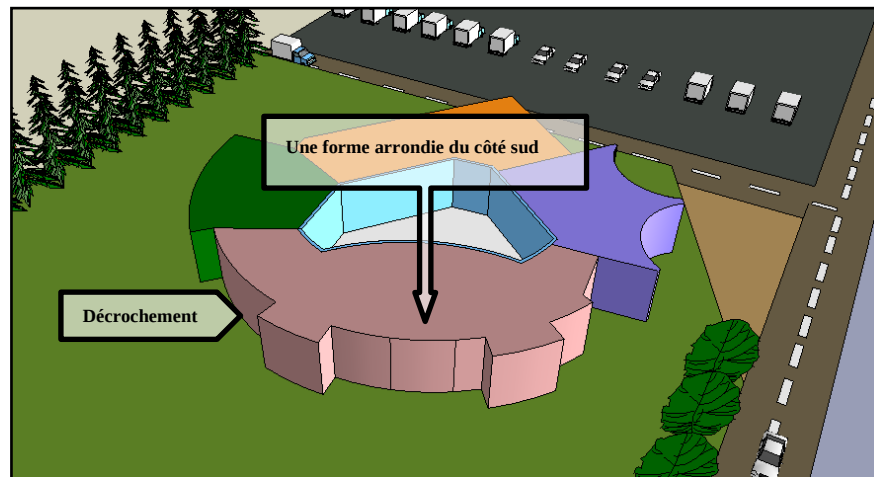


Figure 72 : forme et fonction (côté sud) ;source :l'auteure

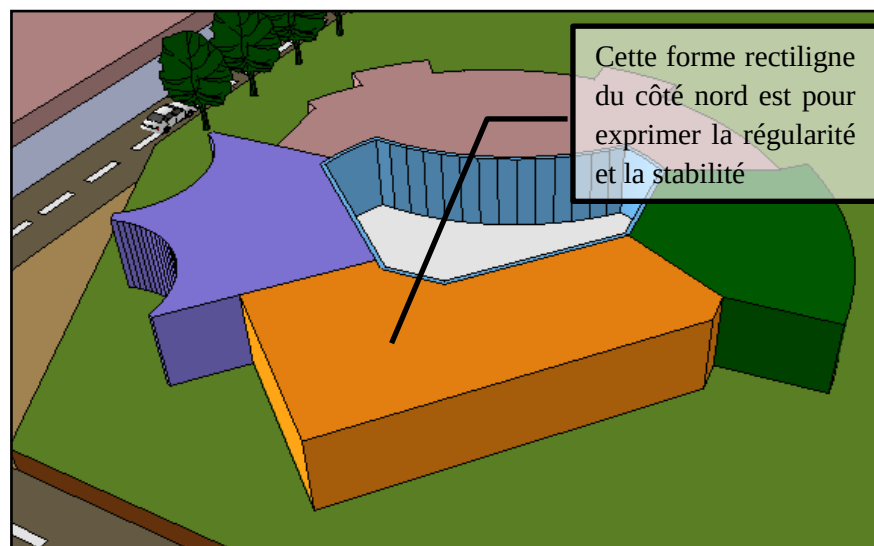


Figure 73 : forme et fonction (côté nord) ; source : l'auteure

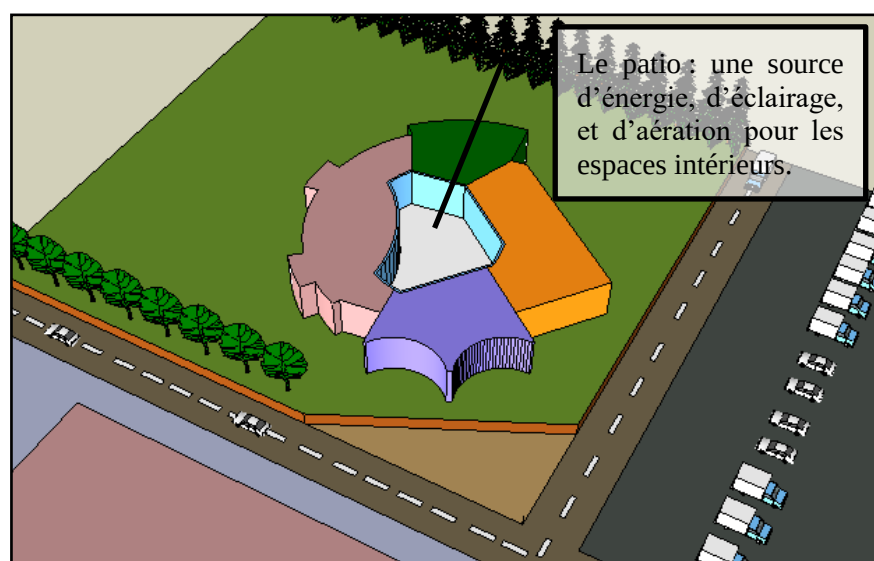


Figure 74 : forme et fonction (côté sud) ; source : l'auteure

Etape07 : parcours et organisation :

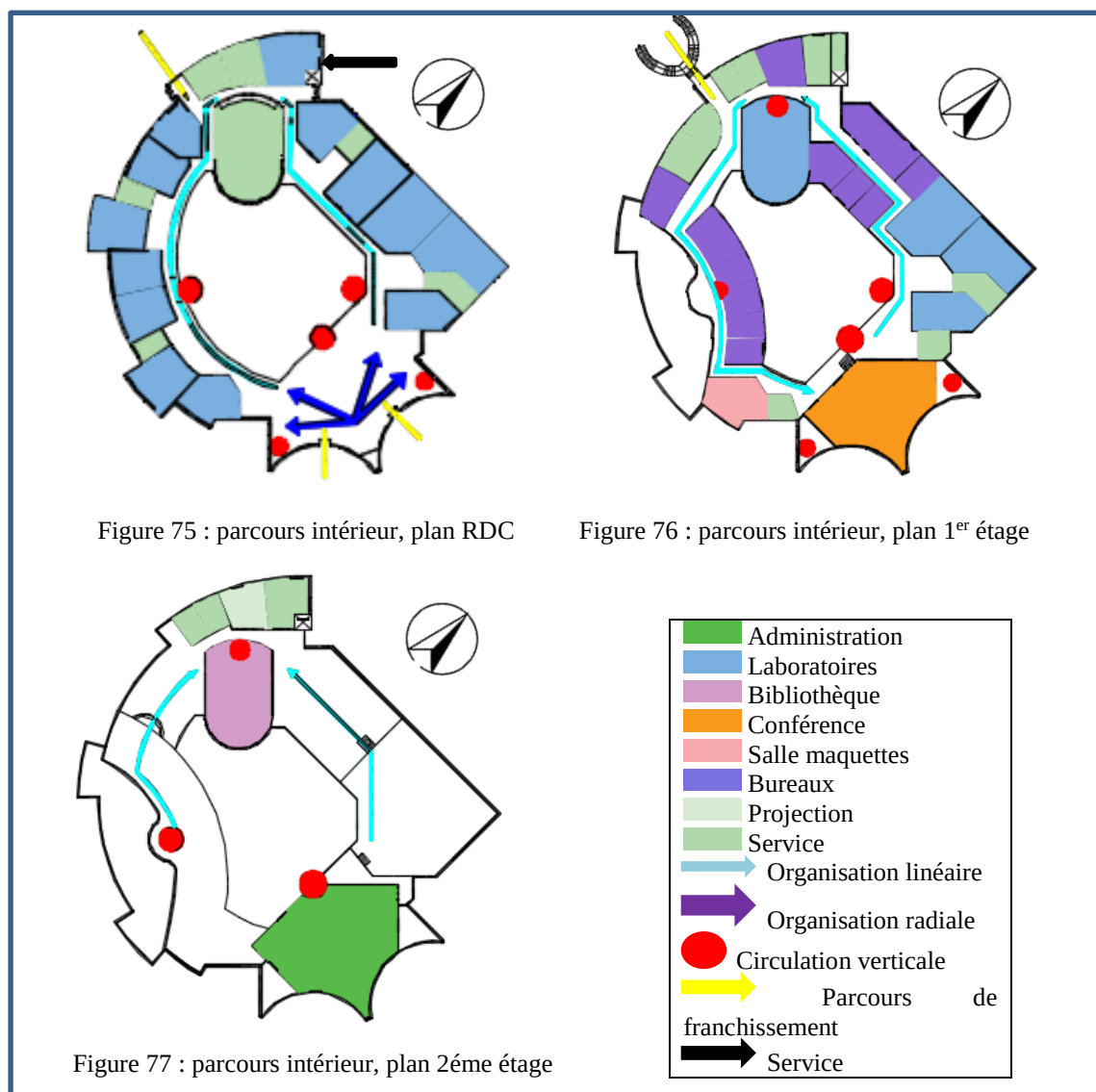
1.parcours intérieurs et organisation:

Les laboratoires d'architecture et de génie civil sera organisé linéairement, les laboratoires caractérisés par une forme rectangulaire qui est perpendiculaire au couloir.

Le rez de chaussée : comprend l'entité d'accueil et de réception, les unités de recherche (les laboratoires) et les unités de service (cafétéria, vestiaires, sanitaire, l'espace de stockage et le patio), l'organisation des espaces est faite selon les exigences et la vocation de chaque espace.

Le 1^{er} étage : comprend également des laboratoires, des unités de service, ainsi que les bureaux et la salle des conférences.

Le 2^{ème} étage : le deuxième étage comprend l'entité d'administration, des unités de services, la salle de projection, dépôt et la bibliothèque. (Voir la figure ci-dessous).



2.Parcours extérieurs :

Le projet est bien desservi de pont de vue accessibilité, ce qui engendre différents parcours.

Un parcours de franchissement du côté Est, Ouest et Sud, un parcours de service du côté Nord-Est, un parcours de découverte tout autour du projet qui sert à découvrir le projet (la bâtisse et les espaces extérieurs comme les champs d'essais) et un parcours d'articulation qui fait relier et articuler les différentes entités du projet. (Voir la figure ci-dessous).

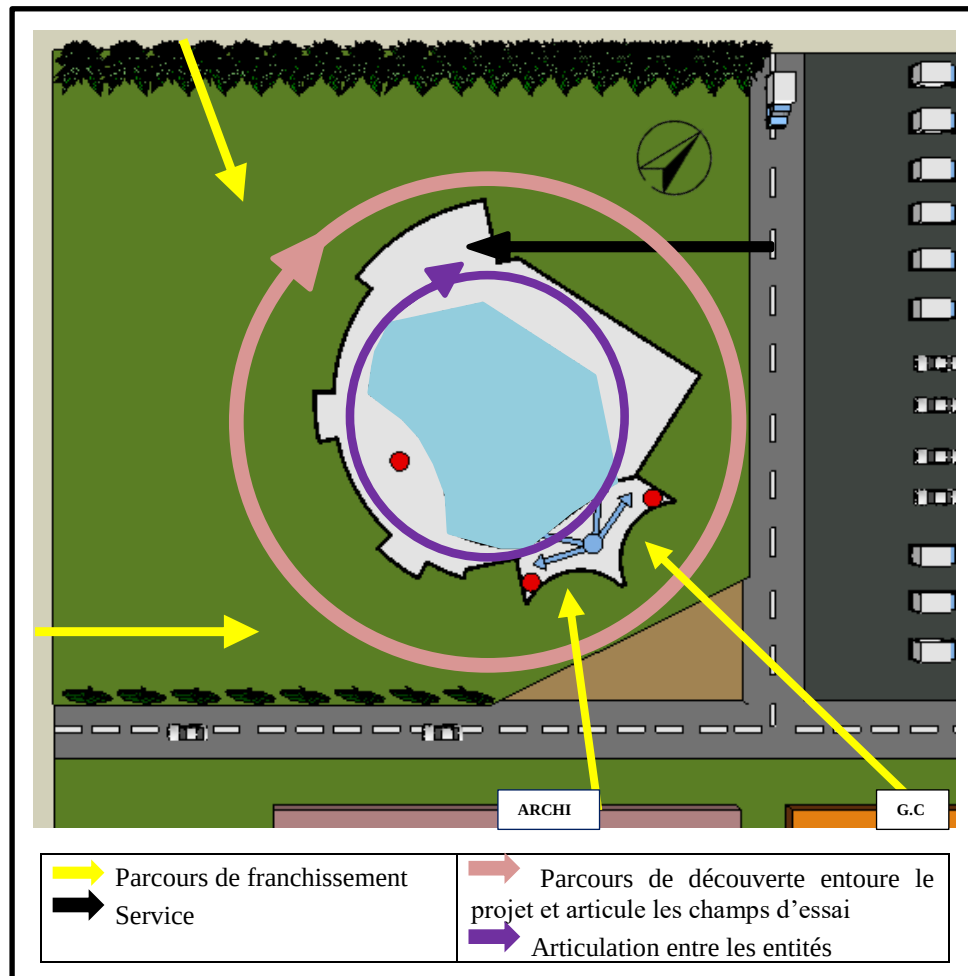


Figure 79 : parcours extérieurs ; source ; l'auteur

IV. _Aménagement extérieure : plan de masse

IV.1 Principe du plan de masse

- Notre projet est basé sur une trame obtenue de la forme du projet, elle suit le contour du bâtiment ;
- La trame est devisée en deux parties, une exprime la régularité et la rigueur et l'autre exprime la fluidité
- A travers la trame on a tracé les différentes accessibilités du projet
- On a modifié et réglé les dimensions de ces parties selon les exigences du projet

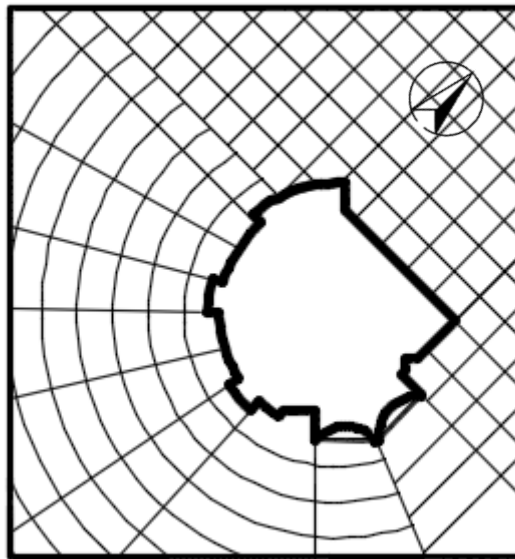


Figure 80 :la trame du plan de masse ; Source : l'auteur.

IV.2 Description du plan de masse :

- Création de 4 accès, un de service qui mène à l'espace de stockage, cet accès est du côté du parking, 3 accès piétons, principal, secondaire et tertiaire ;
- Le bâtiment est entouré par une végétation composée des arbres à feuille persistante des côtés ouest et nord pour se protéger des vents dominants, et des arbres à feuilles caduques pour fournir de l'ombre ;
- Des espaces verts et des plans d'eau pour le rafraîchissement de l'air et la création d'une ambiance confortable aux niveaux des espaces de repos ;
- Création des champs d'essais et des hangars dans les deux côtés, pour le côté de l'architecture ainsi que celui du génie civil ;
- Création des espaces de repos près de chaque lieu de travail afin de fournir des conditions favorables pour le travail, et la création d'un espace de repos commun entre les deux parties, cet espace est à côté de la cafétéria ;
- La création des espaces d'exposition à chaque accès pour exposer les travaux et présenter le laboratoire aux visiteurs.

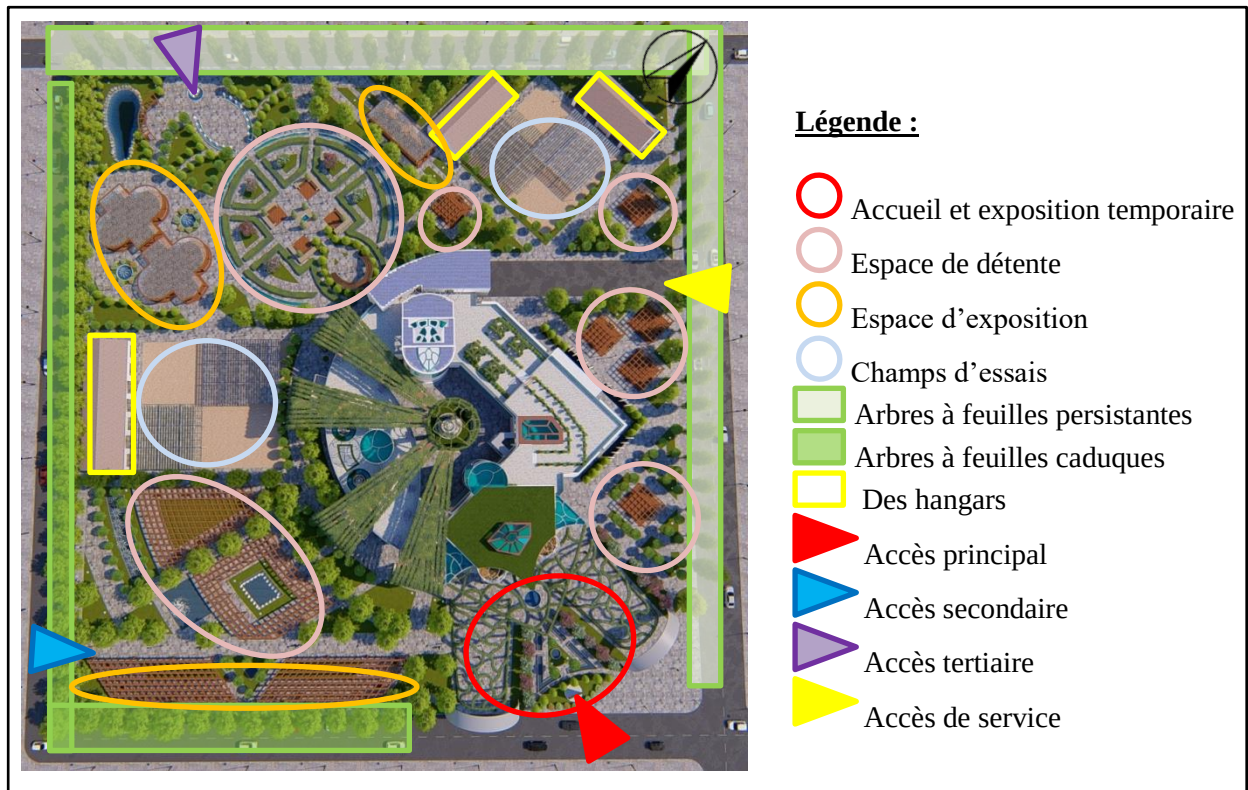


Figure 81 : plan de masse

IV.3 Traitement du volume :

IV.3.1 Description générale du volume :

- Nous avons utilisé la métaphore dans le traitement des façades, le projet est basé sur un traitement inspiré des troncs d'arbre, pour exprimer la relation avec la nature et l'environnement ;
- Les façades sont à l'échelle du voisinage, dont le gabarit est de (R+2) ;
- L'accès principal est apparent ;
- L'utilisation de vitrage intelligent ;
- On a fait une intégration par contraste,



Figure 82 : les troncs d'arbre le source d'inspiration du motif principal

le projet est de couleur blanche, par contre la couleur dominante de la région, la couleur du sable, le blanc est une couleur qui s'adapte avec le climat et qui a un facteur d'absorption très faible.



Figure 83 : vue sur la façade principale du projet ; Source : l'auteur.

IV.3.2 Les façades :

IV.3.2.1 Façade est :

- C'est la façade principale du projet, elle contient deux entrées, un pour l'architecture et l'autre pour le génie civil
- La façade est caractérisée par une certaine transparence avec le motif principal du projet ce qui permet d'obtenir un éclairage uniforme et ambiant
- La façade comprend des murs rideaux et un vitrage intelligent
- Un élément incliné avec un traitement des troncs d'arbre, cet élément couverts par des végétations à feuilles caduques, reflète la projection de l'ombre sous la forme du traitement adopté pour les façades, ce qui permet d'enrichir les ambiances dans l'espace

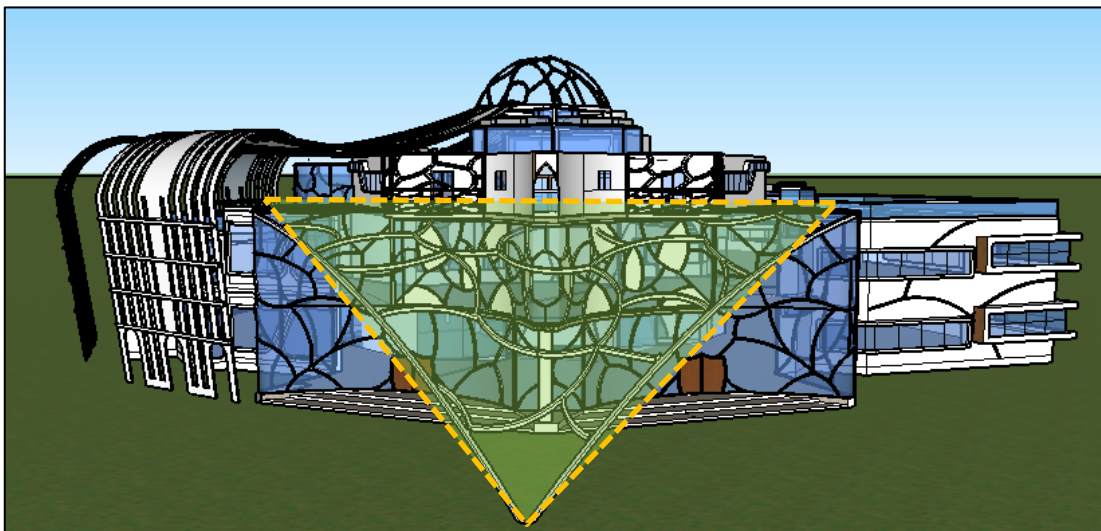


Figure 84 : Façade est. Source : l'auteur.

IV.3.2.2 Façade ouest :

- La façade ouest comprend un volume d'articulation pour les deux parties (d'architecture et de génie civil), ce volume est composé des espaces de services (sanitaire, espace de stockage, dépôt), salle de projection, et deux entrées superposées.
- Le volume d'articulation est caractérisé par une forme qui donne un mouvement pour le volume.
- Les brises solaires sont faites horizontalement suivant la direction du mouvement du volume d'articulation, le vitrage utilisé est le vitrage intelligent
- Des ouvertures face aux vents dominants pour une ventilation naturelle

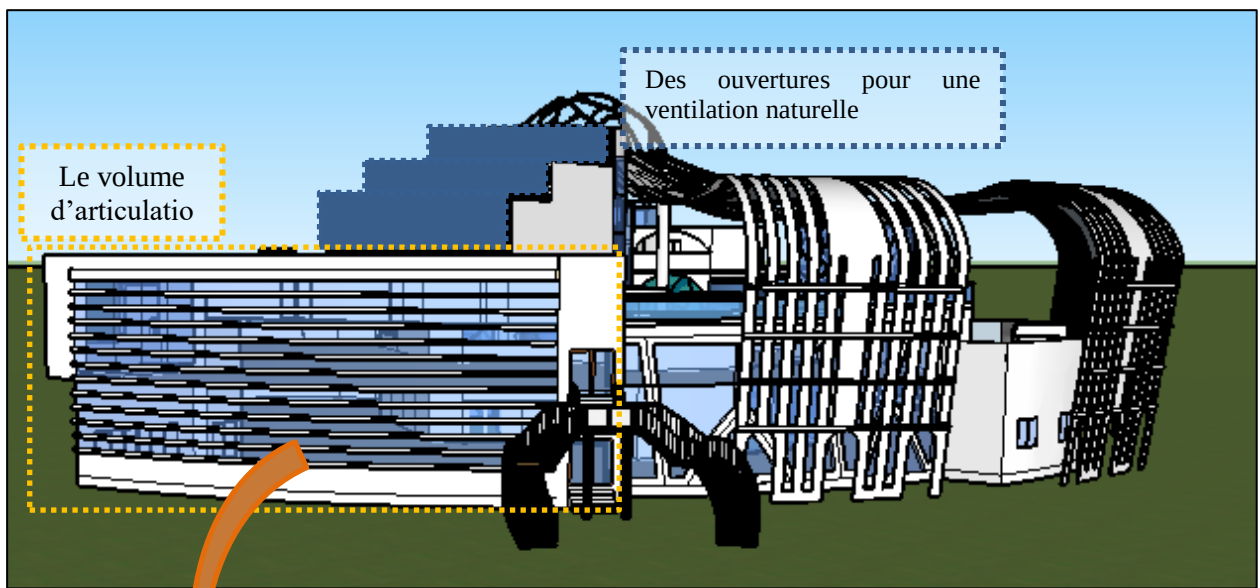


Figure 85 : Façade ouest. Source : l'auteur.



Figure 86 : l'élément d'articulation. Source : l'auteur.

IV.3.2.3 Façade nord :

La façade nord c'est la façade où se trouvent les espaces de génie civil, elle est caractérisée par un jeu de volume avec une méthode bien organisée, la forme des volumes est rectiligne et droite, la simplicité de la façade est un peu cassée par un petit traitement de façade qui sert à un rappel du motif principal de notre projet.

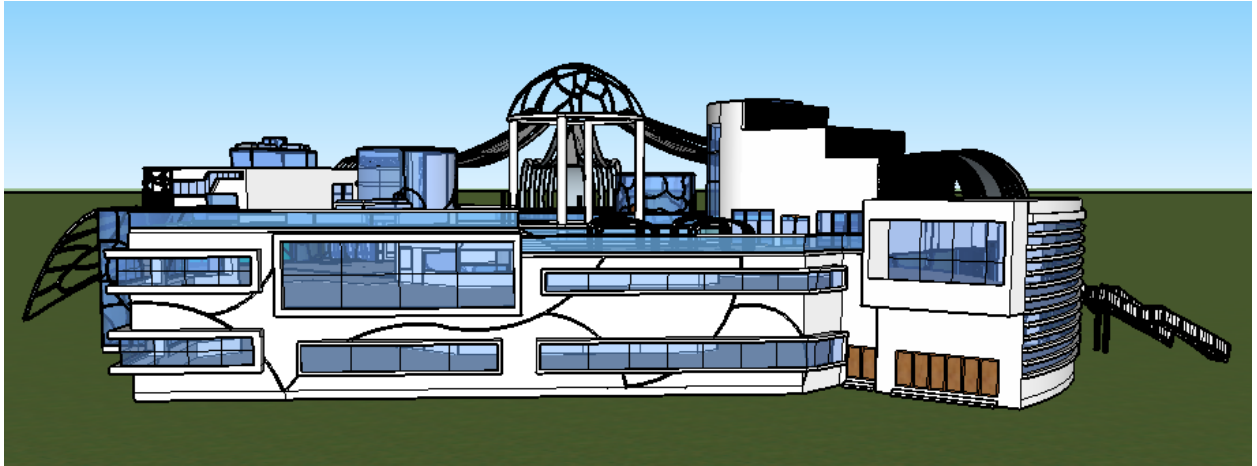


Figure 87 : Façade nord ; Source : l'auteur.

IV.3.2.4 Façade sud :

- La façade sud est caractérisée par une forme arrondie qui exprime la fluidité cette partie comprend les espaces de l'architecture, elle est caractérisée par le traitement principal ;
- La façade exprime une certaine de transparence, sous forme des murs rideaux avec un vitrage intelligent ;
- Ce côté dispose d'une protection solaire par des éléments horizontaux portés par des éléments verticaux , ces éléments sont en bois , un matériau recyclable et économique , ils seront couverts 'une végétation à feuilles caduques pour créer de l'ombre en été et rafraichir l'air.

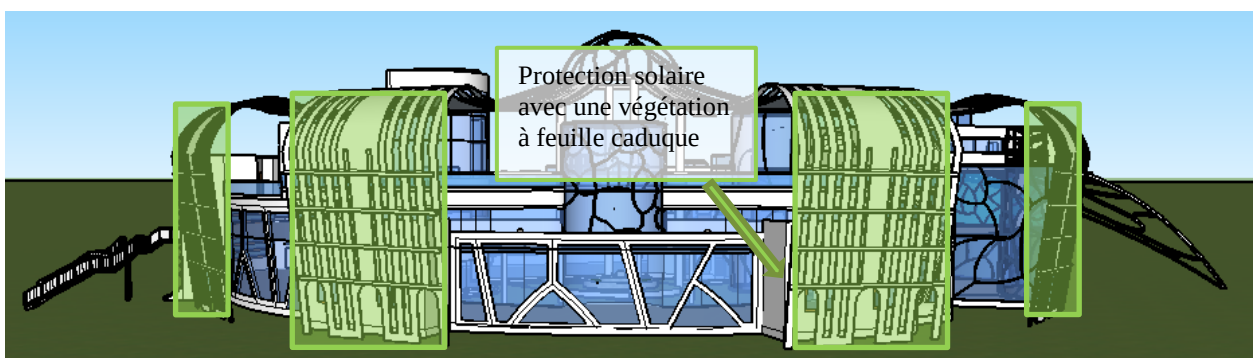


Figure 88 : Façade sud. Source : l'auteur.

IV.3.3 Le patio :

- Le patio est la source de l'aération et la ventilation naturelle des espaces intérieurs, il contient une fontaine et de la végétation ce qui permet le rafraîchissement de l'air,
- Le patio dispose d'un élément d'appel de forme de demi sphère caractérisé par un motif des troncs d'arbre, et protégé par des colonnes, qui sont le support de l'élément d'appel,
- Nous avons créé des éléments de protection solaire tendant vers le côté sud du projet ;
- Une végétation à feuille caduque grimpe sur toutes les colonnes avec l'élément d'appel ainsi que les éléments de la protection solaire.



Figure 89 : vue en plan Source : l'auteur.

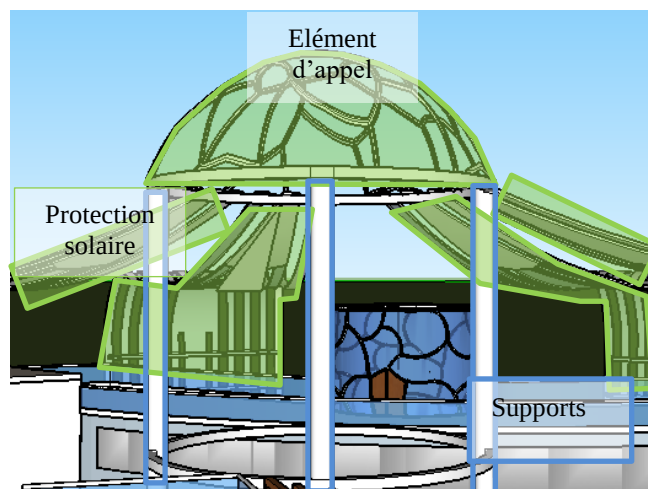


Figure 90 : vue sur l'élément d'appel Source : l'auteur.

IV.3.4 La terrasse

Le projet comprend une terrasse accessible équipée par des chaises et des tables à côté de la bibliothèque pour une lecture en plein air, cet espace de lecture est protégé par des pergolas en bois.



Figure 91 : espace de lecture en plein air Source : l'auteur.

IV.3.5 Vues proches sur le projet :



Figure 92 : vue sur l'accès principal du projet Source : l'auteur.



Figure 93 : espace d'exposition du côté de l'accès secondaire du projet Source : l'auteur.



Figure 94 : Vue sur l'accès tertiaire du projet



Figure 95 : Vue sur l'accès de service

Champs d'essais :

Les champs d'essais comprennent des pergolas mobiles pour les essais nécessitant une protection contre les rayons solaires, ces champs d'essais contiennent des hangars pour stocker et protéger le matériel.



Figure 96 : Champ d'essai d'architecture Source : l'auteur.



Figure 97 : Champ d'essai de génie civil Source : l'auteur.



Figure 98 : Vue proche sur la pergola amovible au niveau des champs d'essais Source : l'auteur.



Figure 99 : espace d'exposition ; Source : l'auteur.

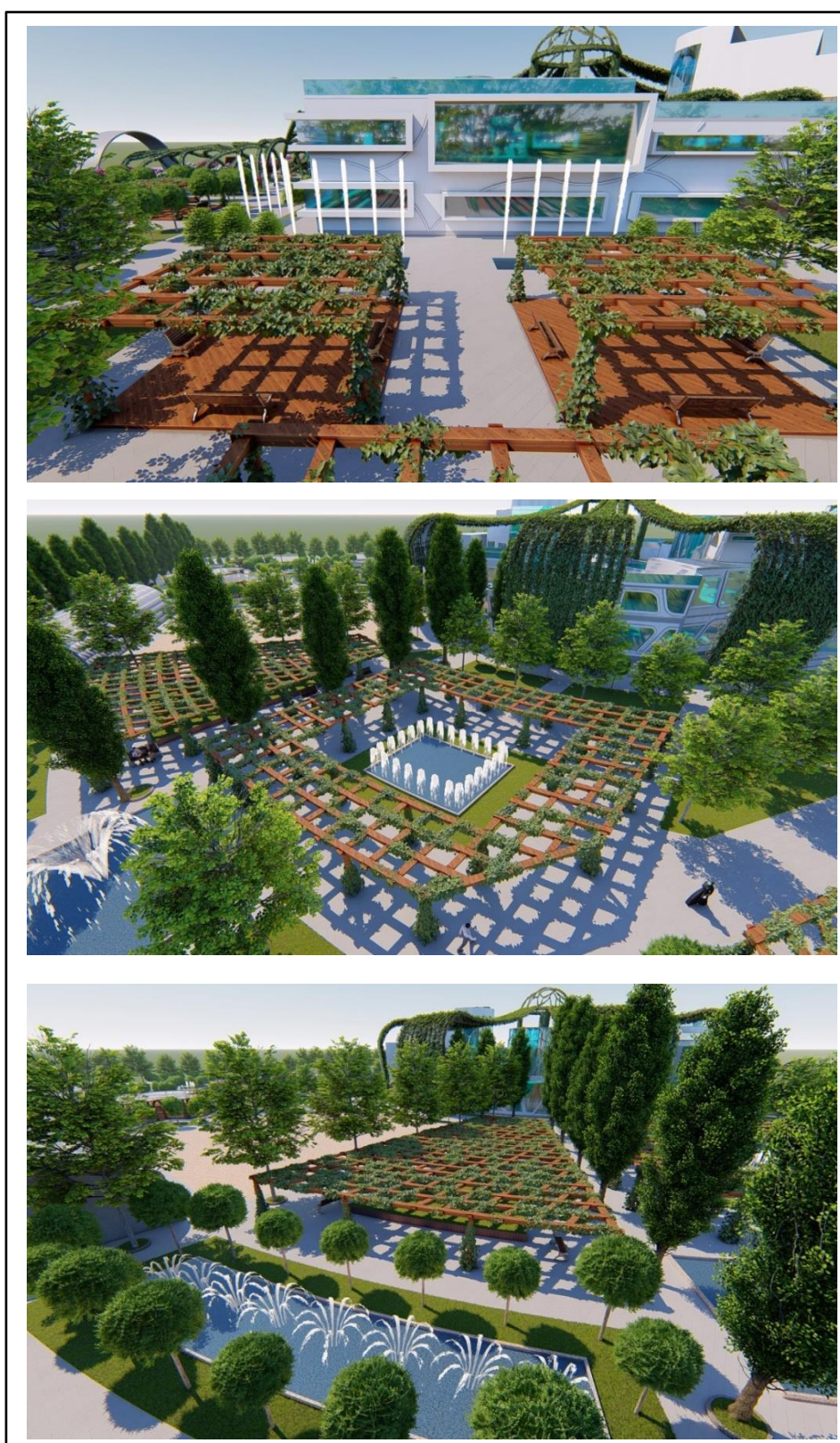


Figure 100 : espaces de repos; Source : l'auteur.



Figure 101 : Vue sur la façade ouest du projet; Source : l’auteur.



Figure 102 : Espace de détente ; Source : l’auteur.



Figure 103 : Vue proche sur l’espace de détente ; Source : l’auteur.

V. Etude Technique.

Cette partie est la partie qui présente les matériaux et les systèmes utilisés et les caractères environnementaux dans le projet, à cette étape on va essayer de donner des explications afin de bien définir beaucoup plus le projet.

V.1 Le système constructif utilisé :

Le système de structure choisi :

C'est un système portique (poteau-poutre) constitué d'éléments linéaires (poteaux, poutres, murs porteurs) ou surfaciques (dalles, planchers), assemblés par des liaisons. Dont le rôle est d'assurer la solidité de l'ouvrage, et de transmettre les charges permanentes, variables et accidentelles jusqu'au sol des fondations. Le choix de la structure s'est fait suivant les exigences de notre conception architecturale. Le projet exige une structure qui assure sa vocation, avec un maximum de surface pour l'espace de travail.

Éléments de structure :

Les poteaux :

Ce sont en béton armé de forme carré, ou cylindrique. La trame structurelle de notre projet est gérée d'une manière générale par une trame orthogonale et semi-circulaire, avec la présence des joints de rupture pour isoler les parties non attachées et avoir plus de liberté dans le plan.

Les poutres :

En béton armé aussi, posées sur les points d'appui.

V.2 Matériaux à caractères environnementaux

V.2.1 Le bois

Le bois est présent dans de nombreuses constructions, bien avant qu'il ne soit question des finitions et de l'aménagement. Les **bois de construction** sont des matériaux très bien adaptés et économiques qu'on emploie aussi bien pour l'ossature, la charpente, le cloisonnage et les planchers. Le bois de construction se présente sous divers aspects : bois brut ou raboté, les contreplaqués et lamellés-collés. (Le bois bionique : futur de nos gratte-ciels)



Figure 104 : coupe d'un arbre, source : (Le bois bionique : futur de nos gratte-ciels).

V.2.2 Le polystyrène extrudé

Le polystyrène extrudé est un isolant synthétique bon marché adapté pour tout type d'isolation. En France, il est principalement utilisé pour isoler le plancher sous dalle et lorsque la place est limitée. En effet, son fort pouvoir isolant permet de réduire nettement l'épaisseur à mettre en œuvre par rapport à un isolant traditionnel. En comparaison du polystyrène expansé, le polystyrène extrudé résistera davantage à la compression et sera mieux adapté pour les milieux humides. Il n'est cependant pas adapté pour la rénovation de bâti ancien car très imperméable à l'eau.

Le polystyrène extrudé a une conductivité thermique de $(0,027\text{ à }0,040)(\text{W/m.K})$ (Le polystyrène extrudé, économique et très isolant)



Figure 105 : polystyrène extrudé. (Le polystyrène extrudé, économique et très isolant)

V.3 Murs rideaux :

L'utilisation des murs rideaux dans les façades, ces murs rideaux de types bioclimatiques sert à profiter des rayons solaires et protéger l'espace intérieur avec le vitrage photovoltaïque transparent.

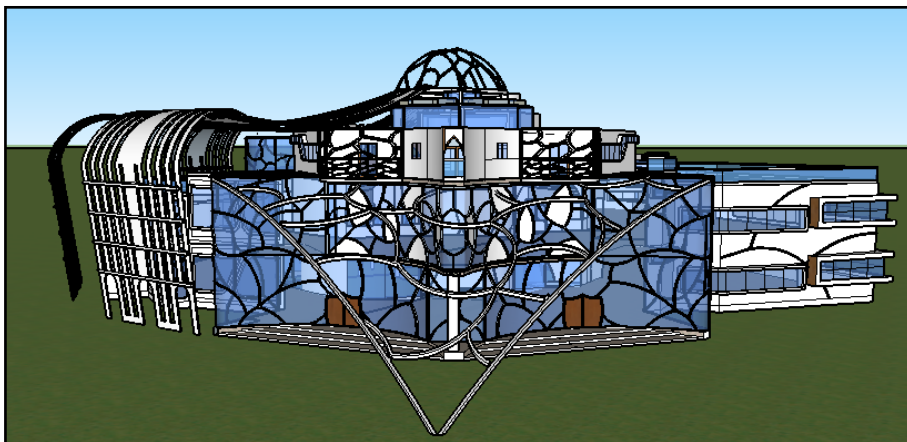


Figure 106 : façade est

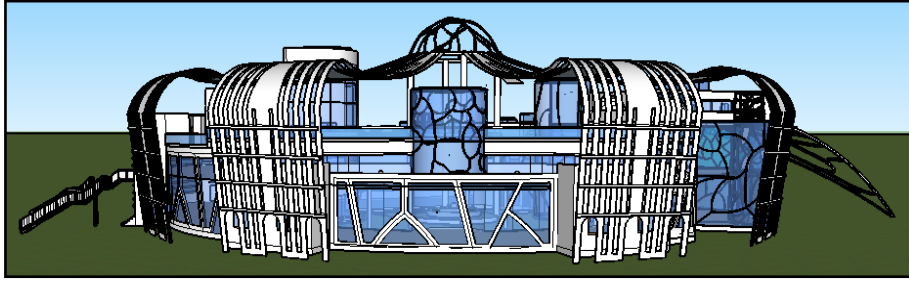


Figure 107 : façade sud

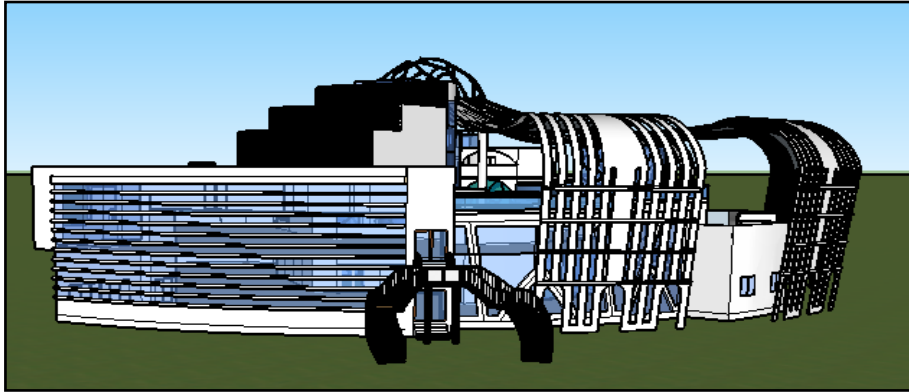


Figure 108 : façade ouest

Figure 109 : des façades présente les murs rideaux

V.4 Protection solaire :

C'est l'un des concepts de base de l'architecture bioclimatique dans les climats chauds

Pour objectif d'arrêter, de freiner et réfléchir les flux solaires avant d'arriver aux parois (surtout les parois sud).

Dans le but de se protéger des rayons solaires directs nous avons opté pour l'utilisation des éléments orizontaux et verticaux en bois , avec une végétation à feuilles caduques qui participent à donner de l'ombre en été et à rafraichir l'air. (voir Figure 110).

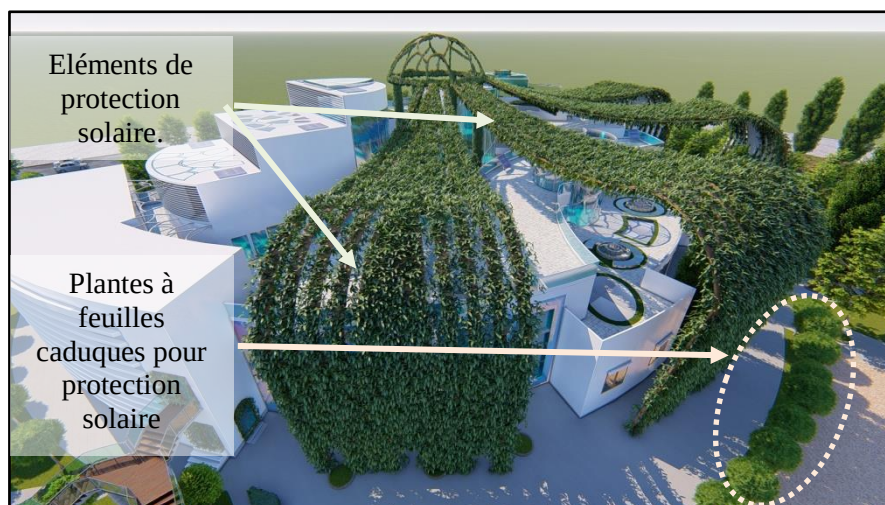


Figure 110 : protection solaire au niveau de la façade sud ; Source : l'auteur.

V.5 Plans d'eau :

L'utilisation des plans d'eau pour améliorer la qualité de l'air et la fraîcheur



Figure 111 :des plans d'eau des cotés différent du projet ; Source : l'auteure

V.6 Panneaux photo voltaïques :

Les panneaux solaires photovoltaïques ont la capacité de convertir la lumière en électricité. En effet, les cellules transforment la luminosité des rayons du soleil en courant électrique alternatif. Un onduleur le convertit ensuite au courant continu et l'injecte directement dans le réseau domestique pour alimenter vos appareils.

L'électricité prenant toujours le chemin le plus court, celle produite par le système photovoltaïque du domicile est consommée en premier.

Les panneaux solaires photovoltaïques sont intégrés au niveau de toiture pour objectif d'absorber la lumière du soleil et de la transformer en énergie électrique. (voir Figure 113).

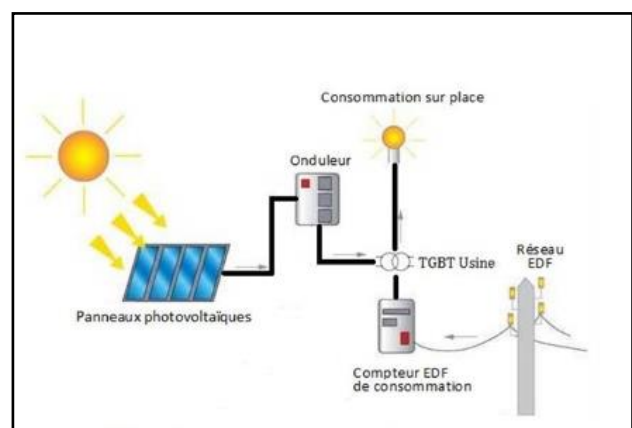


Figure 112 : schéma de principe installation photovoltaïque

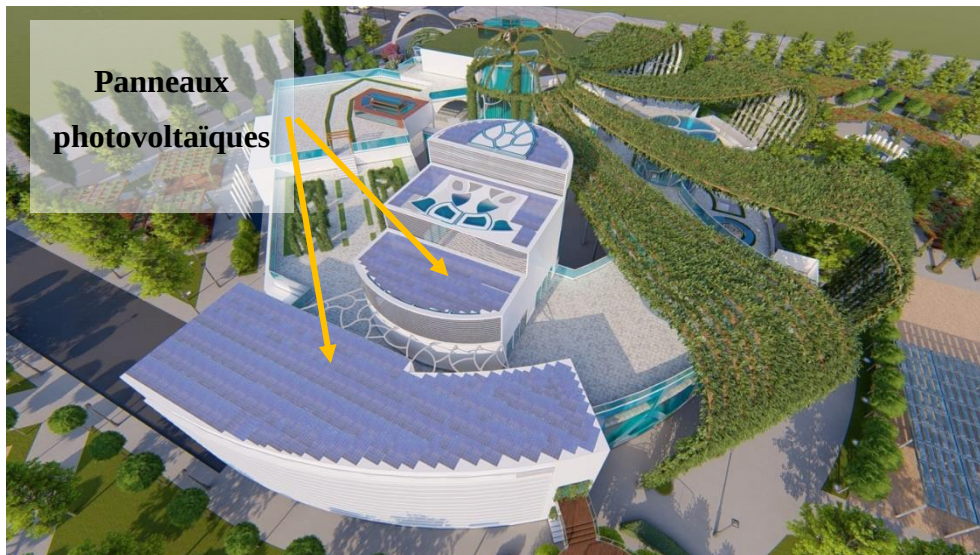


Figure 113 : intégration des panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture ; Source : l'auteure.

V.7 L'éclairage artificiel utilisé dans le projet :

Lampadaire :

L'**éclairage solaire** repose sur le système photovoltaïque qui consiste à transformer l'énergie solaire en électricité. C'est l'une est une solution d'éclairage les plus économiques et écologiques. Les **luminaires** sont alimentés par des panneaux photovoltaïques qui captent cette énergie et la convertissent ensuite en électricité.

La plupart de ces appareils sont utilisés pour l'éclairage extérieur et l'aménagement du jardin. (TOUT SAVOIR SUR L'ÉCLAIRAGE SOLAIRE)



Figure 114 : lampadaire solaire (TOUT SAVOIR SUR L'ÉCLAIRAGE SOLAIRE)



Figure 115 : lampadaire à énergie solaire (espace champs d'essai) ; Source : l'auteure.

L'éclairage à l'énergie solaire :

Le principal avantage c'est qu'il n'y a pas besoin de câble et on peut les installer n'importe où. La durée de vie d'une lampe solaire dépend de la quantité de lumière du jour frappant les capteurs solaires. Quand il fait beau, l'autonomie peut monter à 6 heures. Ces lampes peuvent être combinées à un interrupteur marche/arrêt ou à un détecteur de mouvement. Grâce à ces paramètres d'économie d'énergie. (Quid de votre éclairage extérieur ?)



Figure 116 : éclairage à énergie solaire (Quid de votre éclairage extérieur ?)



Figure 117 : éclairage à énergie solaire ; Source : l'auteur.

V.8 Cellules photos voltaïques translucides :

C'est un module photovoltaïque transparent ou semi-transparent qui permet de produire de l'électricité grâce à son vitrage opacifiant. Appelé aussi vitrage photovoltaïque transparent, le panneau solaire transparent peut être appliqué dans différentes configurations : sur façades, les murs rideaux, les écrans de téléphones, sur le toit d'une véranda...

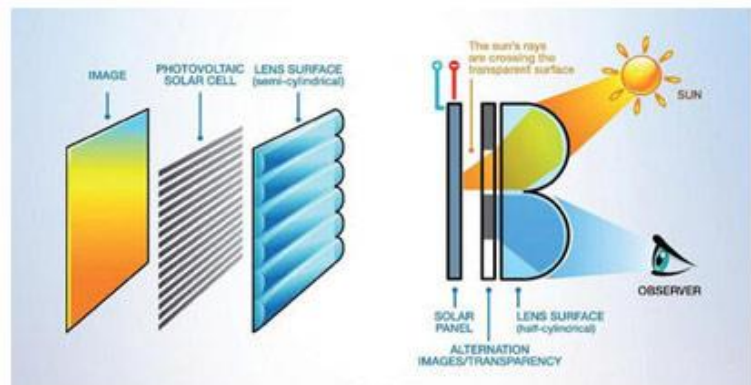


Figure 118 : principe de fonctionnement des Cellules photos voltaïques translucides

Certains modèles sont conçus avec des fonctions intelligentes et une commande à distance. (Lorthe)

On peut remplacer le verre traditionnel dans des murs-rideaux par un verre photovoltaïque semi-transparent ou double vitrage photovoltaïque ou même un verre photovoltaïque semi-transparent

triple, ce qui est un vitrage isolant solaire (panneaux solaires transparentes) (voir Figure 119)



Figure 119 : Façade à vitrage photovoltaïque transparent source : (panneaux solaires transparentes)

Pour notre projet, nous avons utilisé des cellules photos voltaïques translucides, pour produire de l'électricité pour l'éclairage des espaces extérieurs pendant la nuit. Cet écran protège l'espace d'exposition extérieur contre l'ensoleillement direct.

Nous avons utilisé ces panneaux photovoltaïques transparents au niveau des pergolas (espace de repos) et au niveau des façade des murs rideau. (voir Figure 120 et Figure 121).



Figure 120 : Pergolas couvertes de verre photovoltaïques transparents ; Source : l'auteur.



Figure 121 : Murs rideaux en verre photovoltaïques transparents (vue sur la cour) ; Source : l'auteur.



Figure 122 : Murs rideaux en verre photovoltaïques transparents (façade principale) ; Source : l'auteur.

V.9 Vitrage intelligent :

La bonne luminosité d'un bâtiment est un critère énergétique important pour limiter l'éclairage artificiel. Elle peut cependant engendrer quelques contraintes : chaleur excessive, éblouissement, etc. Le vitrage isolant Electrochrome SageGlass permet de pallier ces éventuels désagréments. (Un vitrage intelligent qui s'adapte à l'ensoleillement)

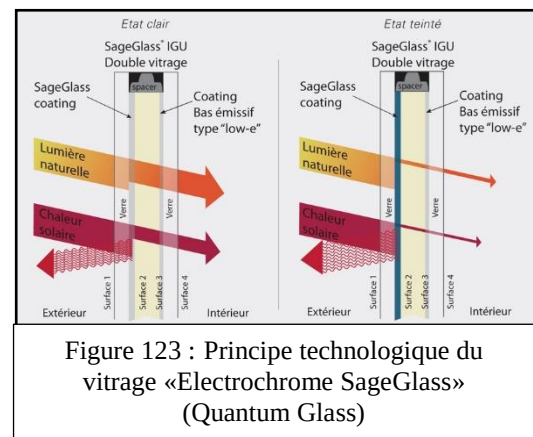


Figure 123 : Principe technologique du vitrage «Electrochrome SageGlass» (Quantum Glass)

Nous avons adopté ce système de vitrage intelligent dans les baies vitrées, comme dans le cas de la façade ouest. (voir figure Figure 124).

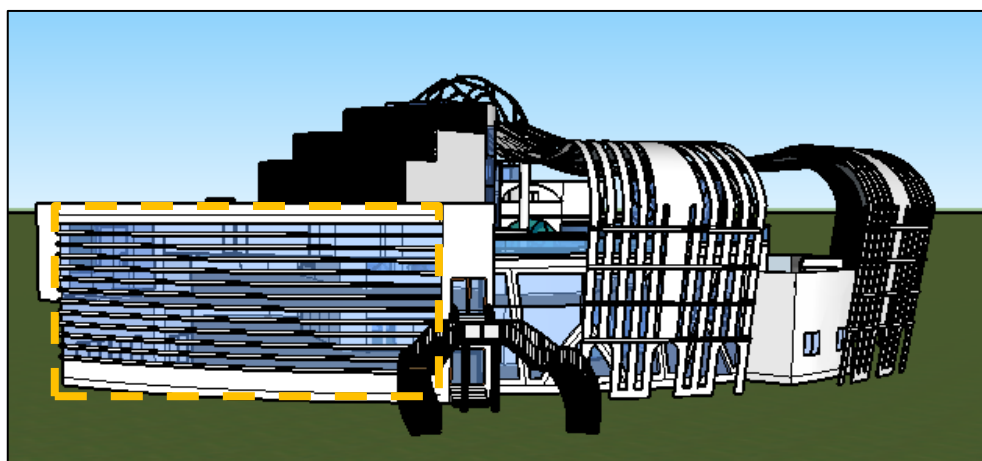


Figure 124 : façade ouest ; Source : l'auteur.

V.10 Les caractères environnementaux :

V.10.1 Toiture végétalisée :

Un toit vert est un aménagement végétal réalisé sur une toiture d'une structure de construction.

Un toit vert comporte de façon minimale : une membrane anti-racines, une membrane de drainage, un substrat de croissance et des végétaux ; le tout installé sur une toiture possédant déjà une étanchéité.

Les systèmes de toits verts sont soit : des systèmes complets où l'ensemble des

composantes avec la toiture de base font partie intégrale du toit vert, des systèmes modulaires où les panneaux du toit vert sont installés sur la toiture préexistante ou, finalement, des systèmes pré-cultivés où des tapis pré-cultivés sont déroulés sur les diverses membranes nécessaires pour créer un toit végétal, comme des membranes anti-racines et de drainage. (Définition et composantes).

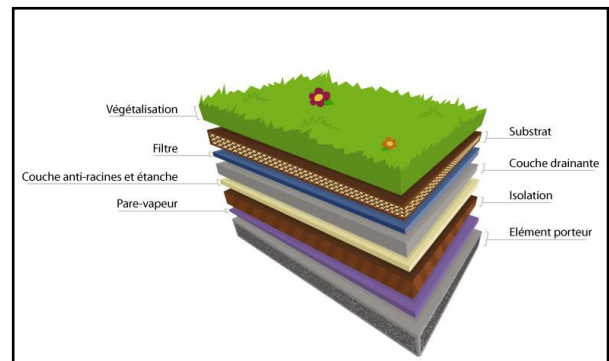


Figure 125 : coupe d'une toiture végétalisée source (Définition et composantes, 2013).

V.10.2 L'éclairage zénithal :

Un éclairage zénithal signifie littéralement « la lumière qui vient du haut » par référence à la lumière du soleil. Dans une habitation ou un lieu de travail l'éclairage zénithal apporte à la fois un grand confort en termes de luminosité mais aussi tous les bienfaits de la lumière naturelle. (ECLAIRAGE ZÉNITHAL)



Figure 126 : vue sur un plafond présente l' éclairage zénithal, source : (Eclairage zénithal naturel : deux idées lumineuses).

Dans notre projet on a intégré la toiture végétalisée sur le toit de l'administration, avec un éclairage zénithal uniforme projeté sur l'espace de distribution

On a intégré aussi l'éclairage zénithal au-dessus de quelques autres espaces du projet.



Figure 127 : vue sur le toit de l'administration ; Source : l'auteur.

V.10.3 La serre :

L'utilisation du vitrage tout autour la cour pour exploiter l'espace de circulation comme une serre.

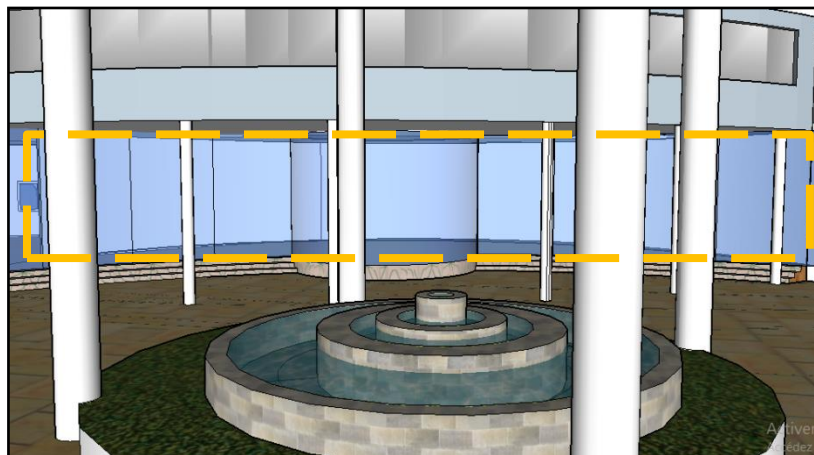


Figure 128 : vue sur la serre de la cour ; Source : l'auteur.

SYNTHESE :

L'approche technique consiste à définir le système constructif, les dispositifs environnementaux, les solutions bioclimatiques adoptés dans le projet, ainsi que la concordance entre les différents systèmes afin que les détails constructifs trouvent leur justification. Mis à part ses fonctions techniques, la structure a des implications d'ordre architectural sur l'espace bâti, ainsi le choix du système structurel dépendrait du contexte où il s'inscrit et de la forme et de la fonction des espaces

Chapitre V : Évaluation du confort.

Introduction

La consommation énergétique en Algérie ne cesse d'augmenter. Le secteur du bâtiment représente à lui seul 34% de la consommation énergétique finale (APRUE). D'où les difficultés de maîtriser le confort thermique dans le bâtiment, qui dépend non seulement du système de chauffage ou de rafraîchissement mais aussi du bon choix des matériaux de construction et de la conception architecturale, qui doit être basée essentiellement sur le respect de l'environnement.

Un laboratoire de recherche est un établissement public à caractère universitaire, il doit répondre à certaines exigences de confort, qu'il soit thermique ou visuel, tout en respectant son environnement, celui de la ville de Laghouat, caractérisée par un été très chaud et sec et un hiver froid.

A travers le présent, nous allons, en premier lieu, choisir un espace de notre projet, et vérifier son comportement thermique vis-à-vis le climat de la région ainsi que le niveau d'éclairement, et second lieu nous allons étudier l'impact du matériau sur le confort thermique intérieur, afin qu'on puisse garantir un environnement intérieur satisfaisant et une ambiance favorable pour les usagers, avec moins de consommation énergétique.

Problématique :

Le confort thermique au sein un laboratoire de recherche pendant la période estivale dans un climat spécifique tel celui que la ville de Laghouat doit être impérativement maîtrisé, où la température est excessivement élevée en été et basse en hiver, ce qui implique l'utilisation de la climatisation et le chauffage, la question que l'on pose est :

Comment assurer le confort thermique dans un espace dédié au travail tel qu'un laboratoire de recherche orientée sud dans une zone caractérisée par un climat chaud ? et comment optimiser le niveau d'éclairement dans cet espace sachant que la ville de Laghouat est caractérisée par un ciel clair sur l'ensemble de l'année ?

Les Objectifs :

Le but de ce travail est d'évaluer le degré de confort thermique et optimiser le confort visuel dans un laboratoire de recherche orienté sud sous les conditions climatiques de la région. Et de vérifier l'efficacité des matériaux de construction locaux et durables en matière d'isolation et de confort thermique afin de trouver d'assurer une bonne qualité environnementale de l'espace étudié.

Hypothèses :

- Le choix des matériaux de construction locaux aux propriétés thermiques et d'isolation et des matériaux capables d'améliorer le confort thermique au sein du laboratoire, comme (l'adobe, brique de terre cuite et la pierre), et la laine de mouton comme un isolant local.
- Le confort dépend aussi de la maîtrise des dispositifs architecturaux, tel que les serres, l'éclairage zénithal, les brises soleil, la végétation, et les systèmes de protection solaire, ...etc.
- Une simulation numérique pourrait bien aider à améliorer le confort dans le bâtiment, comme elle pourrait être un outil d'aide dans le choix des matériaux de construction afin de proposer d'éventuelles solutions.

Méthodologie de recherche :

Le travail est basé sur une simulation numérique à l'aide des logiciels de simulation, dans cette partie nous allons étudier le confort thermique, ainsi que le confort visuel en se basant sur les données environnementales.

Donc nous allons, d'abord explorer quelques concepts liés au confort thermique et au confort visuel, ensuite nous présentons les outils de simulation utilisés, Cet étude prend en considération : les paramètres de simulation, les données climatiques de la région et la description de l'espace à simuler , donc, nous allons introduire ces derniers dans le logiciel et on observe les résultats , à la fin du processus on effectue l'interprétation des résultats obtenus et on cherche à trouver des solutions afin d'obtenir des résultats favorables , et on termine par une conclusion et recommandations.

I. LE CONFORT THERMIQUE : étude et évaluation

I.1 Introduction au confort thermique

Le confort thermique est une cible fondamentale pour la qualité des ambiances intérieures et le bien être des usagers. Il est couramment défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'ambiance thermique. Givoni le définit comme étant l'absence de gêne ou d'inconfort dû à la chaleur ou au froid, ou alors, comme un état engendrant le bien être thermique (Givoni)

I.1.1 Le confort d'hiver

Le principe fondamental d'une architecture bioclimatique est de tirer la meilleure partie de l'ensoleillement naturel pour assurer les apports de chaleur en période froide.

L'architecte tient compte de l'orientation, de la disposition des espaces, et du positionnement des ouvertures afin de profiter au maximum du rayonnement solaire, il contrôle ainsi la disposition des masses afin d'assurer un stockage diurne des calories par inertie et leur restitution nocturne (déphasage). (Les principes de base d'une conception bioclimatique), les stratégies du confort d'hiver à respecter sont : (voir Figure 129)

- A. **Capter l'énergie solaire** : à travers les surfaces vitrées par la prise en compte de l'orientation solaire pour l'organisation intérieure des fonctions préchauffage de l'air entrant via un puits canadien
- B. **Stocker dans la masse** : Les matériaux lourds placés à l'intérieur du bâtiment apportent une inertie thermique
- C. **Conserver par l'isolation** : Isoler thermiquement l'ensemble des parois entourant le volume chauffé afin de conserver la chaleur emmagasinée dans l'air et dans les parois.
- D. **Distribuer** : la distribution de la chaleur se faisant naturellement par convection et rayonnement lorsque le matériau restitue la chaleur accumulée.

I.1.2 Le confort d'été

Au confort d'été répond à la stratégie du froid qui consiste à se protéger du rayonnement solaire et des apports de chaleur, de minimiser les apports internes, de dissiper la chaleur en excès, et rafraîchir naturellement (Liébard et De Herde).

I.1.3 La qualité de l'air

La vitesse de l'air détermine les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de l'eau, la sensation du confort thermique est obtenue par l'évacuation de la chaleur du corps. Les mouvements d'air augmentent les pertes de chaleur par convection et facilitent l'évaporation de l'humidité à la surface de la peau, Un renouvellement de l'air minimal doit assurer le maintien de la qualité de l'air intérieur.

La ventilation contribue à la qualité de l'air (par évacuation des polluants et de la vapeur d'eau), et au rafraîchissement des édifices en été (les stockages de la chaleur). L'air extérieur introduit dans le bâtiment par la ventilation ou par infiltration doit être chauffé ou refroidi pour être porté à la température du confort thermique à l'intérieur. (Liébard et De Herde)

I.1.4 Les éléments naturels du climat

Les éléments naturels du climat sont variables dans le temps et l'espace, cela est dû à la région géographique et la région climatique, le climat est étroitement lié au relief, il peut être considéré comme la partie dynamique de l'environnement, du fait que ses éléments varient à tout moment de la journée, on peut citer :

I.1.4.1 Le parcours solaire

Le soleil suit une course dont chaque point est déterminé en un lieu, par sa hauteur angulaire et son azimut, cette hauteur atteint le maximum au solstice d'été, et le minimum au solstice d'hiver (voir Figure 130) (Liébard et De Herde).

I.1.4.2 Le rayonnement solaire

Une surface absorbe une partie du rayonnement solaire global, un plan d'une surface reçoit deux parties du rayonnement solaire, la partie directe et la partie diffuse, l'intensité dépend de la saison, du parcours solaire, de la latitude, de l'altitude, et les conditions du ciel, (voir Figure 131). (Liébard et De Herde)

I.1.4.3 Les conditions du ciel

La nébulosité caractéristique du lieu, elle est déterminante pour l'intensité effective du rayonnement solaire en tout point et à tout moment de la journée, les conditions du ciel sont déterminantes avant que les rayons solaires n'atteignent la terre en période diurne par exemple : albédo² dans le cas d'un ciel partiellement voilé et l'effet de serre naturel dans le cas d'un ciel voilé, il en est de même en période nocturne (voir Figure 132). (Liébard et De Herde)

I.1.4.4 La température

La température varie, dans le temps et dans l'espace, suivant les conditions du temps qu'il fait, de l'échelle du climat, du voisinage de l'environnement naturel, et surtout de tout aménagement humain susceptible de créer un microclimat (Liébard et De Herde).

I.1.4.5 L'humidité

Elle se caractérise par le taux de vapeur dans l'air exprimé en pourcentage, on emploie parfois le terme degré hygrométrique, qui est le rapport de la masse de vapeur d'eau contenue dans une certaine quantité d'air humide, une ambiance thermique est qualifiée d'étouffante lorsque l'air devient saturé (Liébard et De Herde).

² L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchiée vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace et les aérosols. Par exemple, l'albédo de la neige fraîche est de 0,87, ce qui signifie que 87 % de l'énergie solaire est réfléchiée par ce type de neige. (Climatologie albédo)

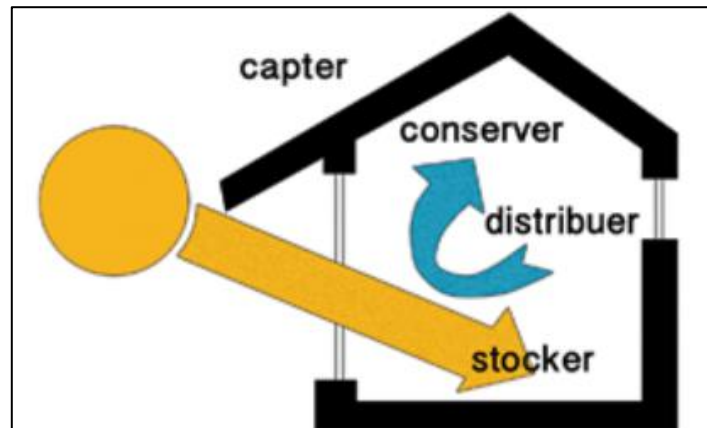


Figure 129 : la stratégie du chaud en hiver.

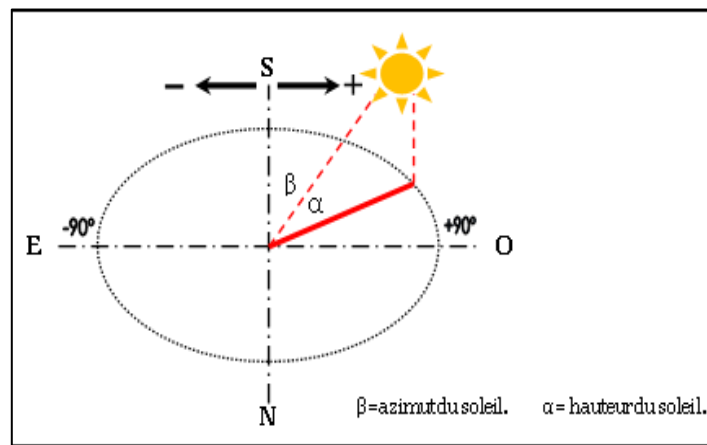


Figure 130 : Le parcours solaire en interaction avec un lieu (Liébard et De Herde)

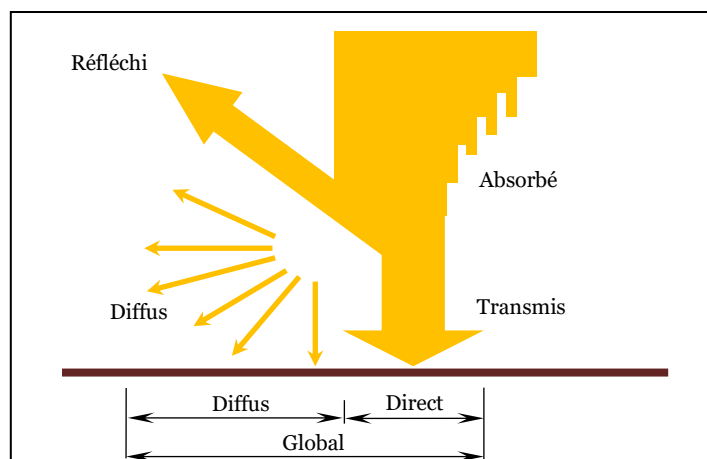


Figure 131 : L'interaction du rayonnement solaire avec une surface (Liébard et De Herde)

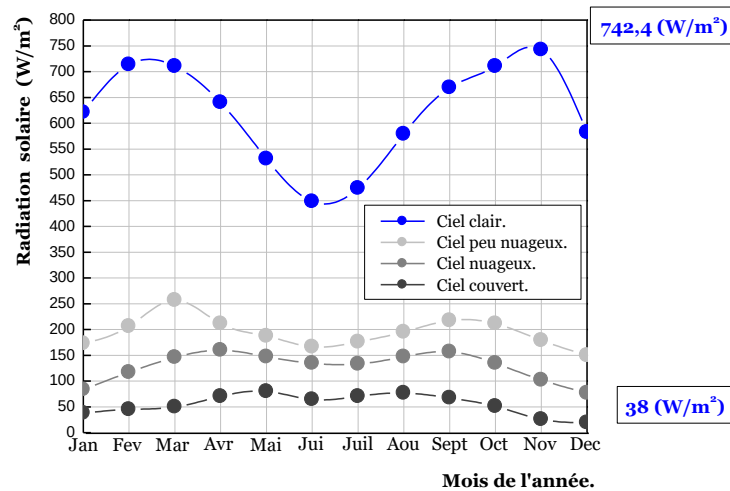


Figure 132 : Le rayonnement solaire reçu par une paroi orientée au sud (Liébard et De Herde).

1.1.4.6 Les précipitations

Le régime des précipitations constitue un élément clé d'un climat. L'eau est source de vie, et prépondérant dans tout établissement humain, l'intensité des précipitations modifie le climat, une averse en période estivale fait chuter la température de façon considérable, pluie, gèle, neige sont des manifestations d'un même processus fondamental dans le cycle de l'eau (Liébard et De Herde) (voir Figure 133)

1.1.4.7 Les vents

Le vent est imprévisible et complexe, difficile à prévenir en interaction avec la rugosité du milieu urbain, il donne plusieurs effets : sillon, canalisation, maille, d'angle, souhaitable en période estivale pour dissiper la chaleur ou contribuer à la climatisation lorsqu'il est conjugué à la présence de l'eau. Par contre, en période hivernale il amplifie le stress au froid, son déplacement est essentiellement horizontal (Liébard et De Herde) (voir Figure 134).

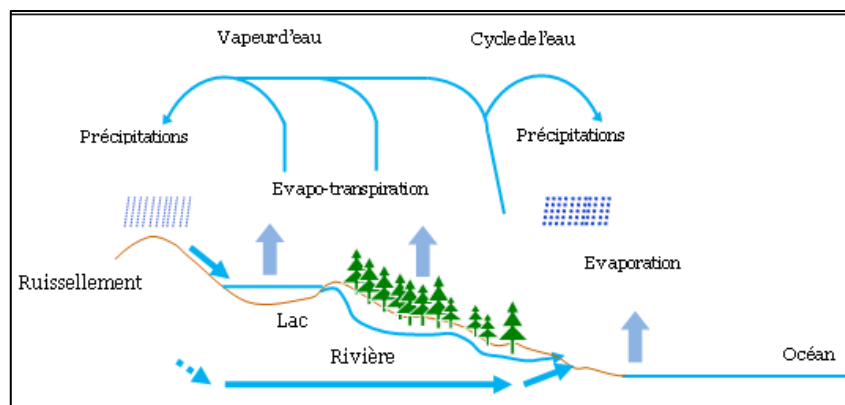


Figure 133 : Le bilan du cycle de l'eau

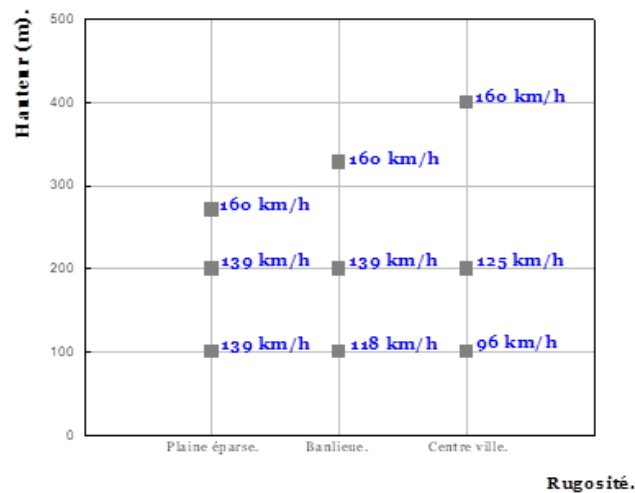


Figure 134 : Variations de la vitesse du vent selon l'altitude et la rugosité

I.1.5 Outil d'analyse :

EnergyPlus, est un programme de simulation énergétique. Basé sur la description d'un bâtiment, il permet de calculer les températures intérieures l'humidité et les besoins de chauffage, ventilation et climatisation, l'ombrage, l'éclairage naturel et besoin d'occupant pour améliorer le confort et réduire la consommation d'énergie.

I.1.6 Présentation de logiciel de simulation : "ENERGYPLUS"

Description :

Est un outil de simulation dynamique permettant de prévoir le comportement énergétique de bâtiments. EnergyPlus se base sur les outils BLAST³ et DOE-2, qui ont été développés dans les années 80 et restent en développement avec une nouvelle version disponible tous les 6 mois. Il peut être utilisé par des ingénieurs, des architectes et des chercheurs et c'est le département de l'énergie des États Unis (DOE) qui finance cet outil, le LBNL⁴ coordonnant le développement. Il est disponible librement sur le site du département de l'énergie.



³ Building Loads Analyse and System Thermodynamics

⁴ Lawrence Berkeley National Laboratory

Ce que EnergyPlus peut faire :

- Permet de modéliser le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la ventilation et de nombreux autres flux d'énergie.
- Il permet d'effectuer les simulations à un pas de temps inférieur à l'heure,
- Modéliser des systèmes énergétiques complexes,
- Analyser le confort thermique et de traiter du multizone,
- Gérer la ventilation naturelle et
- Il peut être couplé à d'autres outils comme WINDOW5 ou Dymola.

EnergyPlus est uniquement un moteur de calcul sans interface graphique conviviale.

Des outils se sont développés utilisant le moteur de calcul d'EnergyPlus mais avec leur propre interface graphique comme par exemple l'outil DesignBuilder. Design-Builder permet la saisie graphique d'un modèle, la gestion de ses bases de données (matériaux, vitres, plannings d'activité, etc.) et gère de façon transparente la liaison au moteur de calcul jusqu'à la restitution des résultats sous forme graphique ou tableur. (Spitz)

- Mais la principale difficulté est d'assembler ces composants pour réaliser le système énergétique voulu.
- Les interfaces graphiques permettant l'assemblage des composants sont en cours de développement et vont permettre de faciliter la mise en œuvre des systèmes CVC⁵.
- Le manque d'interface graphique est actuellement un des inconvénients d'EnergyPlus.
- Le NREL 4 développe un plugin, Open Studio, permettant la saisie graphique du bâtiment et de ses différentes zones thermiques ainsi que la saisie graphique des systèmes énergétiques.
- Même si le développement de nouveau modèle dans EnergyPlus est possible, l'utilisation de langage de programmation plus récent est de plus en plus favorisée comme par exemple, l'utilisation du langage Modelica qui permet de développer ses propres modèles et de les partager facilement.

I.2 Evaluation du confort thermique :

Notre analyse de confort est basée sur la norme ASHRAE de l'approche **adaptive**. Le modèle adaptatif est basé sur l'idée que le climat extérieur influence le confort intérieur parce que les humains peuvent s'adapter à différentes températures pendant différentes périodes de l'année.

De nombreux chercheurs ont mené des études sur le terrain dans le monde entier dans le cadre desquelles ils ont interrogé les occupants des bâtiments sur leur confort thermique tout en prenant des mesures environnementales simultanées. L'analyse d'une base de données des résultats de 160 de ces bâtiments a révélé que leur température préférée dépend des conditions extérieures. Ces résultats ont été incorporés dans la norme ASHRAE 55-2004 en tant que modèle de confort adaptatif. Gagge a établi le modèle dynamique qui permet de prévoir les variables physiologiques

⁵ Chauffage, Ventilation, Climatisation.

sous des conditions instationnaires à travers le calcul d'un indice représentant la température équivalente d'une enceinte isotherme à 50 % d'humidité relative. En 1970, Humphrey, est arrivé à déterminer une expression mathématique de la température neutre basée sur la température extérieure moyenne mensuelle dont la formule est : (CHERIER)

$$T_n = 11.09 + 0.534 T_0$$

T_0 : la température extérieure moyenne pour un mois en question (°C)

T_n : est la température neutre (°C)

Une autre fonction de corrélation empirique a été réalisée par Auliciemes est:

$$T_n = 17.6 + 0.314 T_0$$

1.2.1 Présentation de l'espace étudié :

Dans ce cas d'étude, nous avons étudié un laboratoire d'architecture au niveau de RDC

1.2.1.1 Plan de masse :

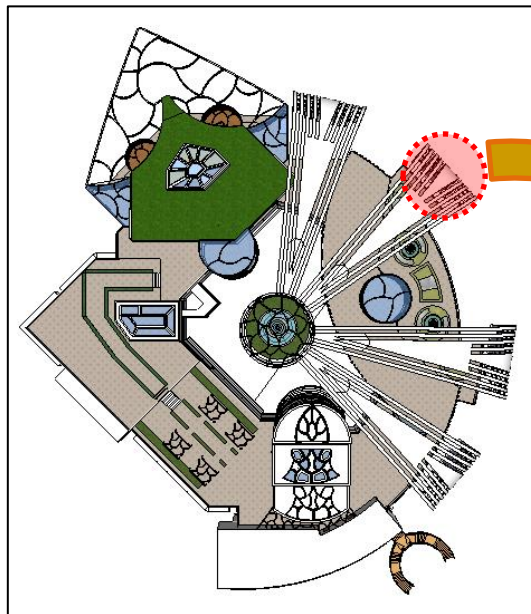


Figure 135 : plan de masse. Source : l'auteur.

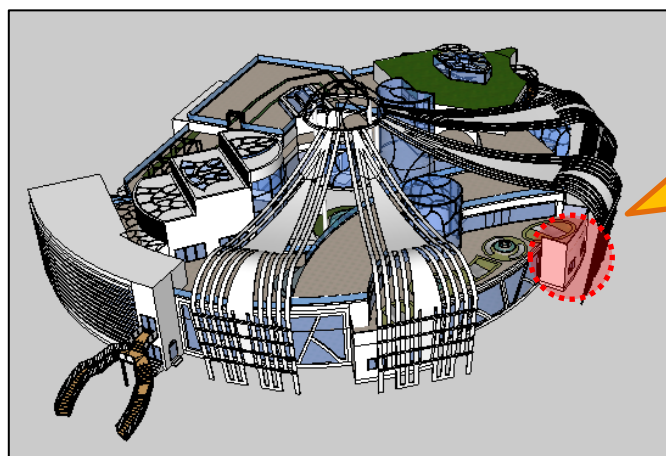


Figure 136 : l'espace à simuler. Source : l'auteur.

1.2.1.2 Choix de l'espace :

La simulation a été effectuée sur l'espace « laboratoire d'architecture » ; orienté sud, le laboratoire est un espace fondamental dans le projet, un lieu de travail et d'activité, pour y faire les essais la recherche scientifique, nous avons choisi cet espace afin de créer un espace bien confortable pour travailler dans des conditions favorables.

Les températures recommandées dans la norme :

Avant de faire une simulation on doit savoir la température du confort ainsi que la température extérieure afin de pouvoir faire une comparaison qui nous permettra d'évaluer le confort thermique. (Voir le tableau ci-dessous)

Tableau 1 : les valeurs recommandées de la température du confort, Source énergie plus.com.

Espace	Température d'été (C°)	Température d'hiver (C°)
Laboratoire	20-25	19

1.2.1.3 Description géométrique de l'espace :

Orientation des ouvertures	Nombre d'occupants	Surface (m²)	Type d'éclairage :	Hauteur sous plafond (m)
Sud	4	58,4	Naturel et artificiel	4,25

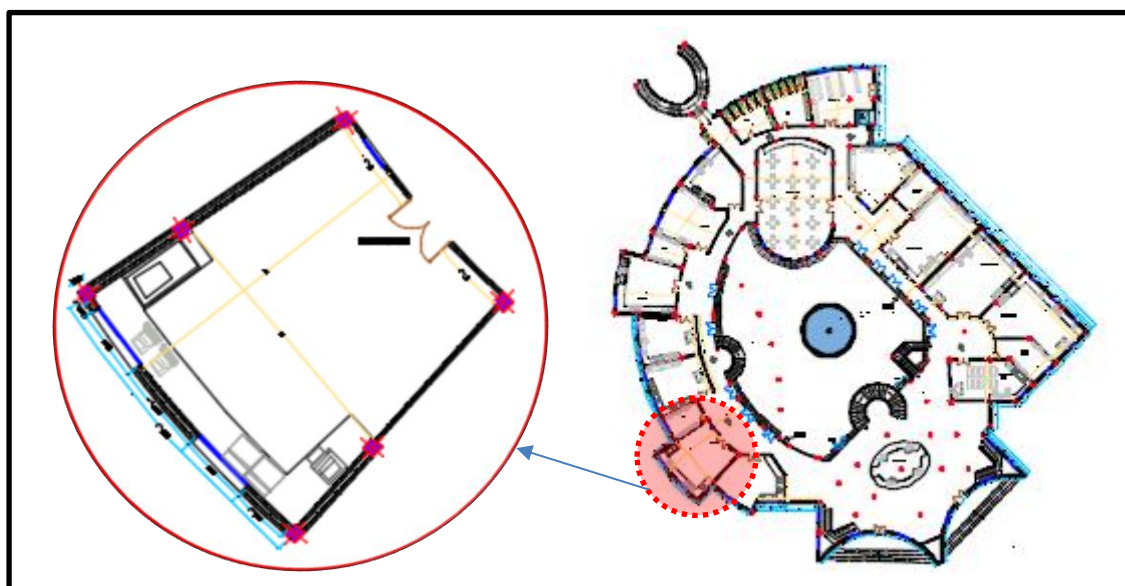
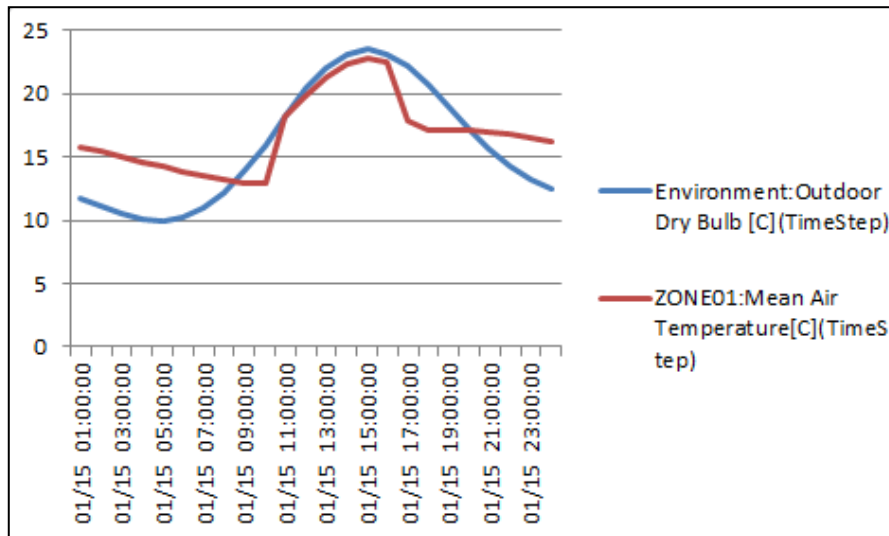


Figure 137 : l'espace étudié sur le plan. Source : l'auteur.

[illegible]

Pour obtenir des résultats meilleurs on a essayé de faire des améliorations au niveau des éléments suivants :

Tableau 2 : les dispositifs d'amélioration ajoutés pour le cas été ; source : l'auteure

Les propositions	Description
Au niveau des murs	Ajouter un isolant à faible conductivité thermique au niveau de lame d'air des parois (polystyrène extrudé)
Au niveau de vitrage	L'utilisation d'un double vitrage L'utilisation des brises solaire et les stores

La ventilation naturelle :

A cette période estivale on a besoin surtout d'une ventilation naturelle pour améliorer le confort intérieur, elle est parmi les solutions les plus efficaces pour économiser l'énergie.

Ventilation par patio / cour :

Le rôle de ces patios dépressionnaires, essentiel dans le système de ventilation naturelle traversante, consiste à générer un flux d'air continu à l'intérieur des constructions, y compris entre les espaces intérieurs et les couloirs.

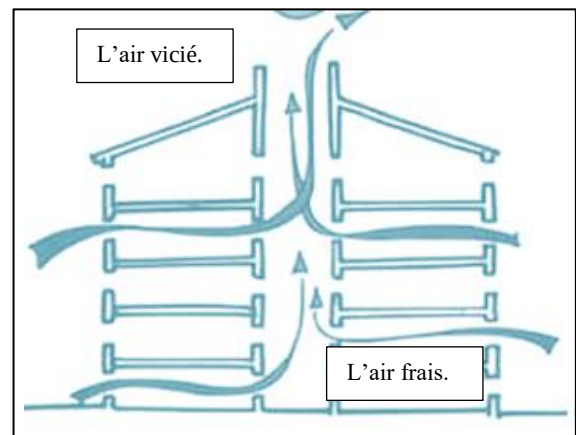


Figure 142 : ventilation naturelle par patio.

I.2.4.1.1 Résultat de simulation cas amélioré d'été :

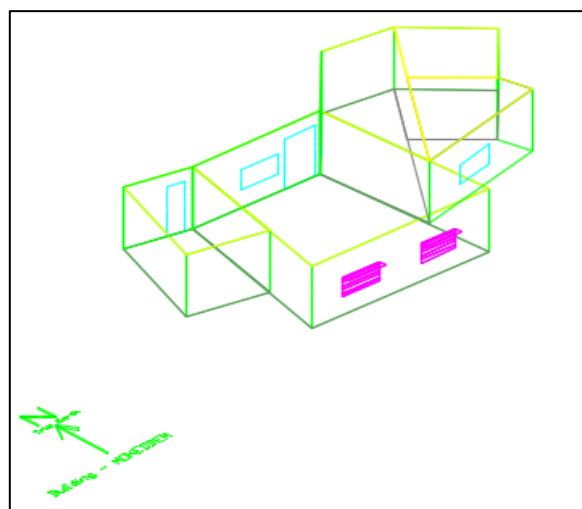


Figure 143 : résultat 3d cas amélioré été source : l'auteure.

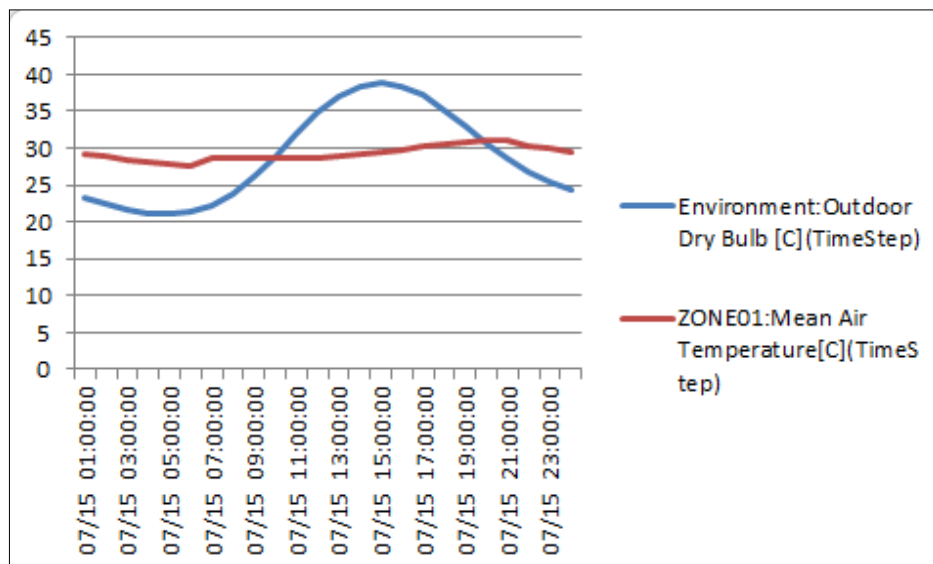


Figure 144 : Graphe de la température du cas amélioré été ; source : l'auteur.

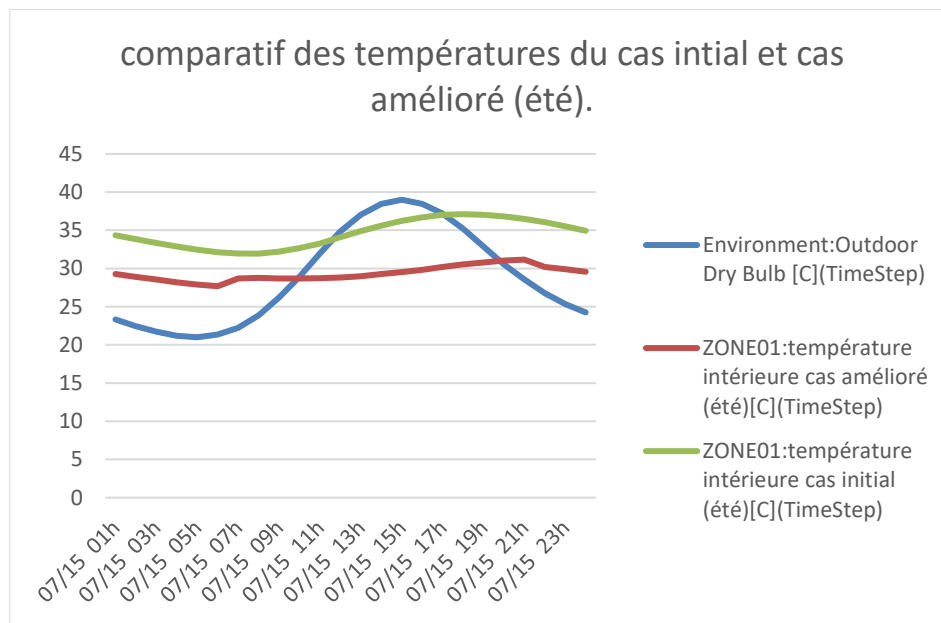


Figure 145 : Graphe des températures cas initial et cas amélioré (été) ; source : l'auteur.

I.2.4.1.2 Interprétation des résultats :

Après l'utilisation des matériaux isolants et la protection solaire on remarque une baisse considérable de la température intérieure par rapport au cas initial (de plus de 7°C), ce qu'on considère une amélioration du confort intérieur, ces résultats on les a obtenu sans tenir compte de la ventilation nocturne et la végétation, et d'après l'approche conceptuelle on peut dire qu'on est dans la fourchette du confort, ce qu'on peut l'améliorer davantage avec le diagramme de Givoni (voir Figure 47) : qui montre que pour améliorer le confort d'été, il faut travailler sur : HIV, I, RE (Humidification, grande inertie des parois, ventilation, refroidissement par évaporation.)

- Après l'utilisation des matériaux isolants, les brises solaires, les stores, et la ventilation naturelle on remarque qu'il y a une amélioration de température intérieure, la température intérieure dépasse la température du confort avec quelques degrés seulement mais elle est acceptable en plus elle reste presque stable, ce qui indique qu'il y a un équilibre de température dans l'espace.
- Ces résultats on les a obtenus sans la prise en compte de l'élément de la protection solaire avec ses végétations à feuille caduque, dans la simulation numérique, ceci dit qu'il y a lieu d'une amélioration passive du confort, par la création de la fraîcheur et plus d'ombrage sur la façade.
- Il y a aussi d'autre solutions à part les systèmes environnementaux, ses solutions simples peuvent aussi participer à la diminution du degré de température intérieure par exemple, la création des ouvertures en haut des murs, cette position elle la meilleur pour diminuer le degré de température, car l'air frais.

1.2.4.2 La période hivernale : cas d'hiver

Matériaux :

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Mur ext	Mur int	dalle flottante	Mur en pierre	Dalle pleine toit	winglass	door	element	plancher	mur
Enduit ciment	Enduit platre	Hérissos	Enduit ciment	Mortier de chaux	vitrage 3 mm	Porte pleine Chêne	Mur brique 100	Mortier de chaux	Verre
Mur brique 150	polystyrène extrudé	Dalle flottante	Mur en pierre	Terre	AIRGAP			Terre	polystyrène extrudé
polystyrène extrudé	Mur brique 150	Sable	Enduit platre	Mortier batard10	vitrage 3 mm			Enduit batard	Verre
Mur brique 100	Enduit platre	Mortier ciment		Dalle pleine	AIRGAP			Dalle pleine	
Enduit platre		Carrelage		Enduit platre	vitrage 3 mm			Enduit platre	

Figure 146 : les matériaux utilisés du cas amélioré hiver ; source : l'auteur

Tableau 3 : les dispositifs d'amélioration ajoutés pour le cas hiver ; source : l'auteur

Les propositions	Description
Au niveau des murs	Ajouter un isolant thermique à faible conductivité thermique au niveau de lame d'aire des parois (polystyrène extrudé) Utilisation de la serre.
Au niveau de vitrage	L'utilisation d'un double vitrage

I.2.4.2.1 Résultat de simulation cas amélioré d'hiver :

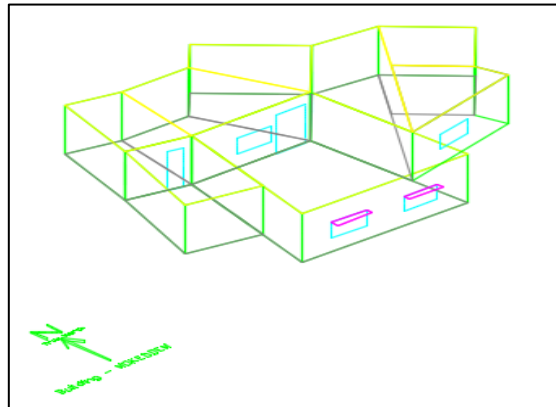


Figure 147 : résultat 3d cas amélioré en hiver; source : l'auteur.

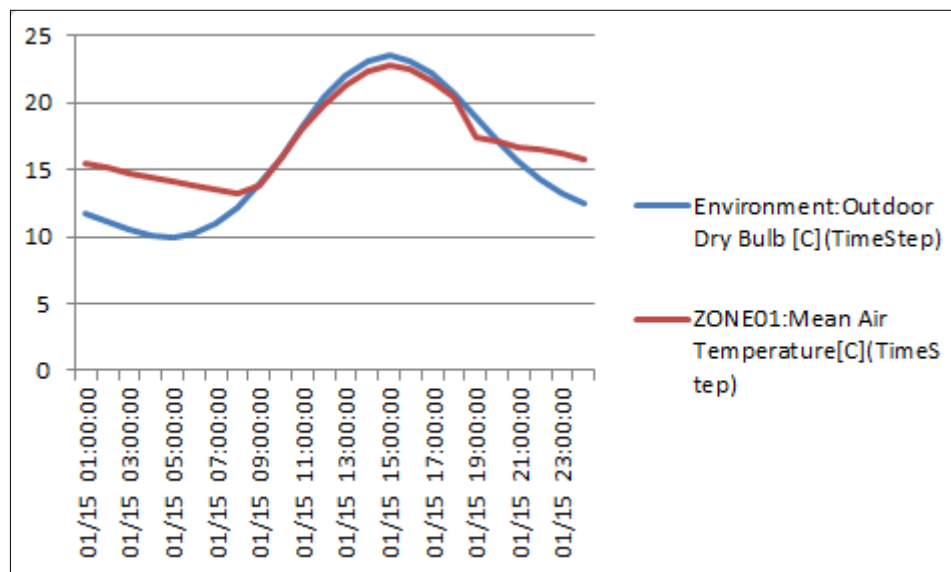


Figure 148 : Graphe de la température du cas amélioré hiver ; source : l'auteur.

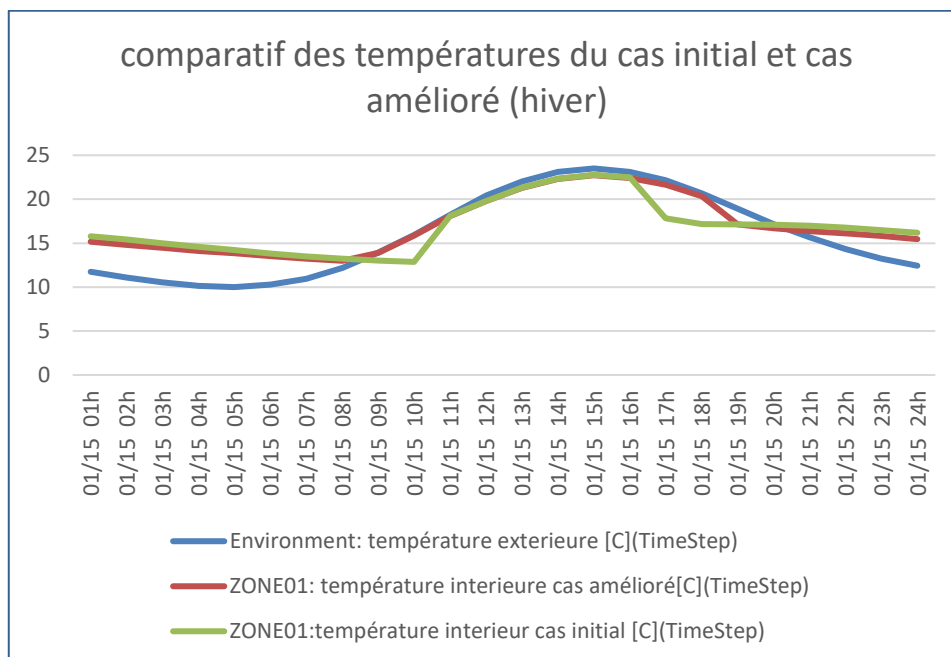


Figure 149 : Graphe des températures cas initial et cas amélioré (hiver) ; source : l'auteur.

I.2.4.2.2 Interprétation des résultats :

Pour la période hivernale on remarque une légère amélioration par rapport au cas initial, la température intérieure a augmenté un peu à l'intérieur de l'espace, de 14 à 23°C.

Et pour plus de confort selon le diagramme de Givoni pour le cas d'hiver, il faut travailler sur : CSA : chauffage solaire actif.

- Après l'insertion d'une serre, et les matériaux isolants, on remarque une petite amélioration par rapport au premier cas et une différence avec la température extérieure
- On remarque que la serre n'a pas fait une grande influence, ce qui peut être interprété par l'orientation nord de la serre. Si on inverse l'orientation de la serre vers le sud, on obtiendra des résultats meilleurs.

La période qui nous intéresse le plus c'est entre 8h et 17h, la période de travail au sein du laboratoire, où la température commence à augmenter à partir de 9h pour atteindre 20°C vers 11h et continue à augmenter jusqu'à arriver à 22,5°C à 15h, et revenir à 20°C à 19h.

Synthèse :

- Pour assurer le confort intérieur thermique du bâtiment il faut d'abord bien choisir des matériaux de construction de bonnes caractéristiques thermiques et les isolants thermiques, (matériaux à plus faible conductivité thermique)
- Au niveau de vitrage on a besoin d'un vitrage qui a un faible coefficient de transmission de la chaleur (u) tel que le double vitrage, le triple vitrage
- Il existe des solutions simples (passives) et qui peuvent faire une grande différence de température, tel que les dimensions des fenêtres, la forme, la position.
- L'amélioration de la qualité de l'air extérieur par la végétation, (des arbres, plantes ..) participe à diminuer automatiquement la température intérieure et fournir de la fraîcheur .
- Les dispositifs passifs (environnementaux) peuvent aussi bien améliorer le confort intérieur tel que la façade ventilée, la toiture ventilée, le tour à vent, la cheminée solaire.
- L'utilisation de la serre est très efficace en hiver surtout dans une région chaude et aride, mais il faut une bonne orientation, la meilleure orientation de la serre c'est le sud.

Conclusion :

La simulation nous a permis de montrer que l'isolation de l'enveloppe architectural (le choix des matériaux de construction) est une nécessité pour le confort intérieur des usagers, vue son influence considérable sur les températures intérieures, et sa capacité de réduire la consommation énergétique.

- La prise en compte de ce paramètre seul, nous a permis de réduire la température intérieure par rapport à celle du cas initial avec plus de 7 °C, pour la période d'été, cette valeur se reflète positivement sur la consommation énergétique.
- L'isolation thermique est plus rentable durant la période de chauffage
- Pour bénéficier plus du confort, il est préférable de combiner le paramètre du choix des matériaux performants avec d'autres dispositifs architecturaux passifs pour se rapprocher plus du confort, avec bien sûr, la prise en compte de l'environnement selon l'approche adaptative, qui aide à mieux à cerner la notion du confort, dont elle explique que le confort ne dépend pas d'une valeur absolue mais plutôt des facteurs climatiques régionaux, et l'adaptabilité de l'être humain à ces derniers, ainsi que la méthode de Givoni.

II. LE CONFORT VISUEL : étude et évaluation

II.1 Introduction au confort visuel :

C'est une sensation totalement subjective. Les facteurs significatifs sont, entre autres, l'âge et l'acuité visuelle. Cette sensation de confort dépend également de l'objet à percevoir, de sa taille, de son aspect, de sa couleur.

Le confort visuel doit assurer à la fois la visibilité des objets et des obstacles, la bonne exécution des tâches sans fatigue visuelle et une ambiance lumineuse agréable. Il est inséparable de la quantité, de la distribution et de la qualité de lumière disponible dans une pièce. Le confort visuel peut néanmoins se mesurer à travers des critères objectifs qui doivent être bien étudiés pour atteindre le seuil du confort : (DAICH. S)

- Le site, avec toutes ses contraintes dont l'ensoleillement, les masques et les reliefs, la nature des surfaces et l'éclairage artificiel extérieur ;
- Le nombre d'ouvertures, leur taille, leur orientation ;
- La quantité de lumière naturelle ;
- La qualité de l'éclairage naturel qui est mesurée par le facteur de lumière du jour (FLJ) ;
- La qualité de l'éclairage électrique en termes de confort et de dépenses énergétiques est caractérisée par l'indice de rendu des couleurs et la température des couleurs ;
- La relation visuelle avec l'extérieur.

II.1.1 Les paramètres du confort visuel

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques : l'éclairement, la luminance, le contraste, l'éblouissement et le spectre lumineux auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision. Le confort visuel relève, en outre, de facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu, tels que son âge, son acuité visuelle ou la possibilité de regarder à l'extérieur. Un environnement visuel confortable sera obtenu par la détermination des paramètres suivants : (DAICH. S)

- Un bon niveau d'éclairement nécessaire à une vision claire et sans fatigue,
- Un rendu des couleurs correct et une lumière agréable,
- Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace,
- Les rapports de luminance présents dans le local (bonnes conditions de contraste),
- L'absence d'ombres gênantes,
- La relation au monde extérieur,
- L'éblouissement.

II.1.2 Définition de l'éclairage naturel

Il est défini comme étant « l'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir ». (RUBERG.)

II.1.3 Définition de l'ambiance lumineuse dans la norme EN 12464-1 : 2011 « Éclairage des lieux de travail intérieurs »⁶

Pour la réalisation d'un bon éclairage, il est essentiel, qu'en plus de l'éclairement requis, les besoins qualitatifs et quantitatifs soient satisfaits. Les exigences relatives à l'éclairage sont déterminées par la satisfaction de trois besoins humains fondamentaux : (Yannick, Hélène et Ivan)

- **Le confort visuel** : la sensation de bien-être ressentie par le personnel contribue d'une certaine façon à un meilleur niveau de productivité et à une meilleure qualité de travail ;
- **La performance visuelle** : le personnel est en mesure d'exécuter des tâches visuelles de qualité, même dans des circonstances difficiles et pendant de plus longues périodes ;
- **La sécurité.**

Les paramètres les plus importants qui déterminent une ambiance lumineuse en ce qui concerne, la lumière artificielle et la lumière naturelle sont :

- la distribution des luminances,
- l'éclairement,
- la direction de la lumière et l'éclairage de l'espace intérieur,
- la variabilité de la lumière (niveaux et couleur de la lumière),
- le rendu des couleurs et la couleur apparente de la lumière,
- l'éblouissement,
- le papillotement

II.1.4 Facteur de lumière du jour (FLJ)

Pour mesurer ou calculer le FLJ, il suffit de mesurer ou calculer l'éclairement pour une grille de points représentant le plan pour lequel on souhaite la mesure et de diviser les valeurs obtenues par l'éclairement extérieur. (Bodart)

Le tableau suivant donne des exemples de valeurs d'éclairement minimal pour certaines activités, l'éclairement pouvant être obtenu par des éclairages

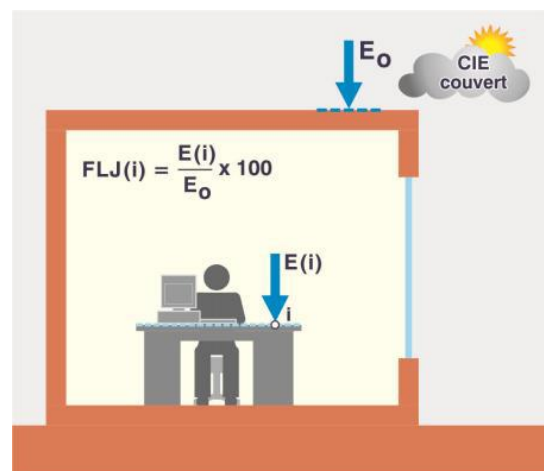


Figure 150 : facteur de lumière du jour (flj).

⁶ Extrait de la norme EN 12464-1.

localisés de la zone de travail en complément de l'éclairage général. (Cadiergues)

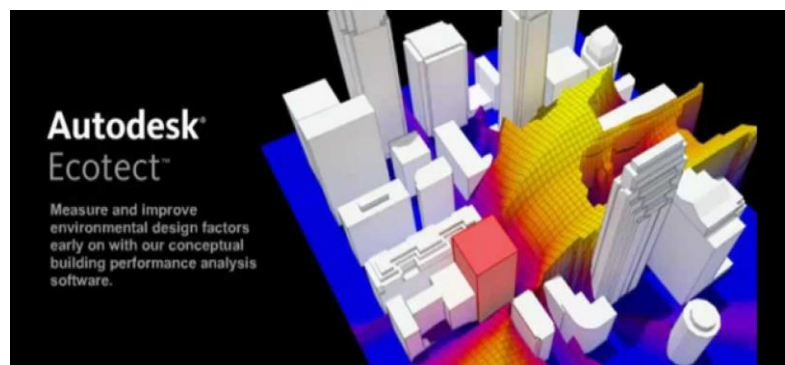
Tableau 4 : valeurs recommandées d'éclairage minimal pour quelques types d'activité. Source : (Cadiergues).

<i>Eclairage minimal</i>	<i>Type d'activité</i>
200 lux	Mécanique moyenne, dactylographie, travail de bureau
300 lux	Travail de petites pièces, bureau de dessin, mécanographie
400 lux	Mécanique fine, gravure, comparaison de couleurs, dessin difficile, industrie du vêtement
600 lux	Mécanique de précision, électronique fine, contrôles divers
800 lux	Tâches très difficiles de l'industrie ou des laboratoires

II.2 Evaluation du confort visuel : simulation avec le logiciel Ecotect.

II.2.1 Présentation de 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. Il 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 des 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. (Ecotect)

II.2.1.1 Avantages :

- Prise en main assez rapide ;
- Résultats très visuels (parfaits pour communiquer avec des architectes) ;
- Bon outil pour la phase esquisse et pour bien orienter la conception ;
- Nombreuses sorties vers des logiciels plus performants. (Ecotect)

II.2.1.2 Faiblesses :

- Pas de calcul d'équilibre thermique (radiation et convection à chaque pas de temps) ;
- Pas de ventilation naturelle ni de multizones ;
- Très faibles possibilités en chauffage, ventilation et air conditionné. (Ecotect)

II.2.2 La modélisation du laboratoire d'architecture par Ecotect :

Nous avons modélisé l'espace de laboratoire d'architecture, que nous avons étudié précédemment pour le confort thermique (voir Figure 151).

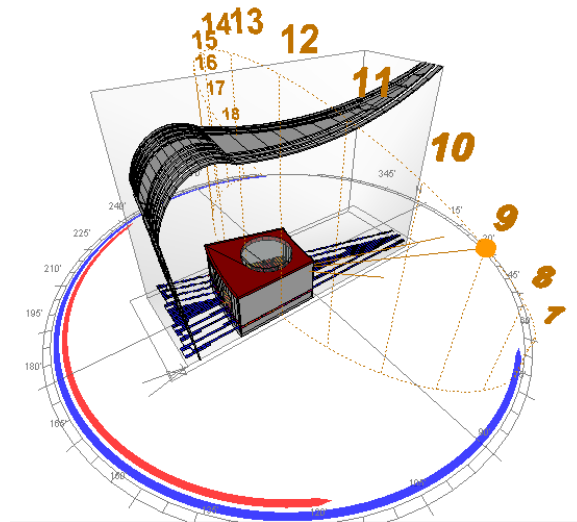


Figure 151 : Modélisation de l'espace étudié sur Ecotect. Source : l'auteur.

II.2.3 Cas d'étude :

Nous avons effectué une simulation pour évaluer le niveau d'éclairage et le confort visuel dans le même espace étudié précédemment (voir Tableau 5) pour la plus longue journée de l'année (le 21 juin).

Tableau 5 : informations sur l'espace étudié.

Orientation des ouvertures	Nombre d'occupants	Surface (m ²)	Type d'éclairage	Source d'éclairage naturel	Hauteur sous plafond (m)
Sud	4	58,4	Naturel et artificiel	Deux ouvertures orientées sur (2x1,5) Ouverture de toit, pour l'éclairage zénithal (diamètre initial de l'ouverture 4m)	4,25

II.2.4 La simulation est faite pour 21 juin avec ciel dégagé à midi :

Laghouat est une région connue par son ciel clair sur la quasi-unanimité de l'année, nous avons choisi la journée la plus ensoleillée et la plus longue, nous avons effectué l'analyse à midi, ou le soleil a un Azimute de $13,8^\circ$ et une Altitude de $31,8^\circ$ ce qui fait que la façade Sud et le toit soient complètement exposés au soleil.

II.2.5 Résultats de simulation :

Dans un premier temps, nous avons effectué une simulation sur le même laboratoire orienté sud, d'une hauteur avec deux ouvertures sur la façade de $(2 \times 1,5) \text{ m}^2$, avec une ouverture de toit pour l'éclairage zénithal de diamètre 4 m

II.2.5.1 Cas initial été :

Commentaire :

A midi les valeurs du **FLJ** varient de 6 à 33,7 % à l'intérieur du laboratoire sur une paillasse (un plan de travail) de 1m20 de hauteur. une valeur très importante par rapport à la valeur recommandée pour un laboratoire selon la norme (flj moyen 5% - flj min 1,5%).

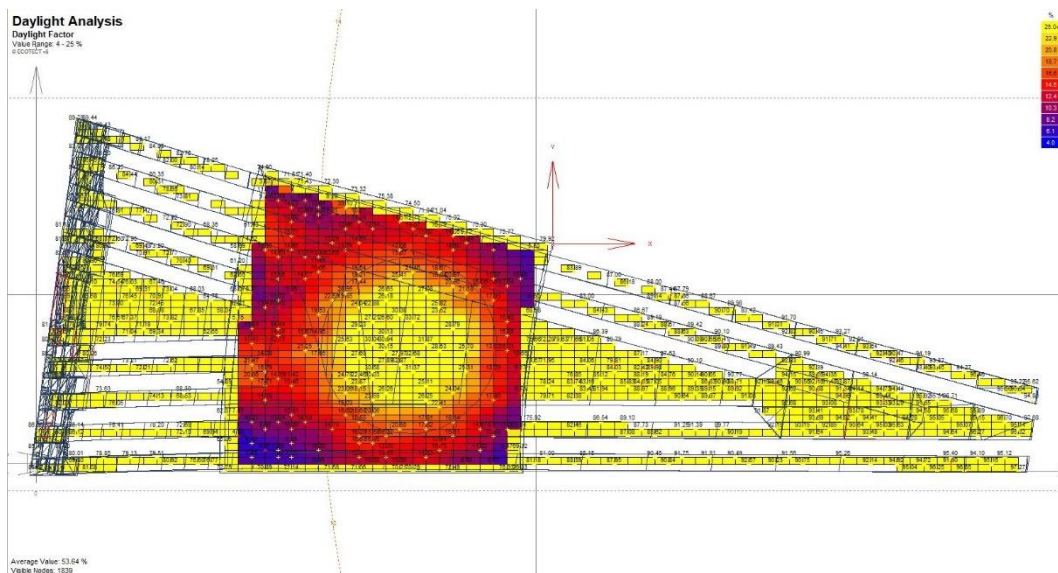


Figure 152 : valeur du FLJ à ciel dégagé (cas initial été). Source : l'auteur.

II.2.5.2 Cas amélioré été :

Après la première simulation (cas initial) nous avons constaté que la quantité d'éclairement subie est très importante concentrée au centre du laboratoire au-dessous de l'ouverture du toit, ensuite nous avons essayé de diminuer sa taille et en faire deux afin de répandre la lumière sur la surface de l'espace. (Voir Figure 153), avec un diamètre de 1 m pour chacune.

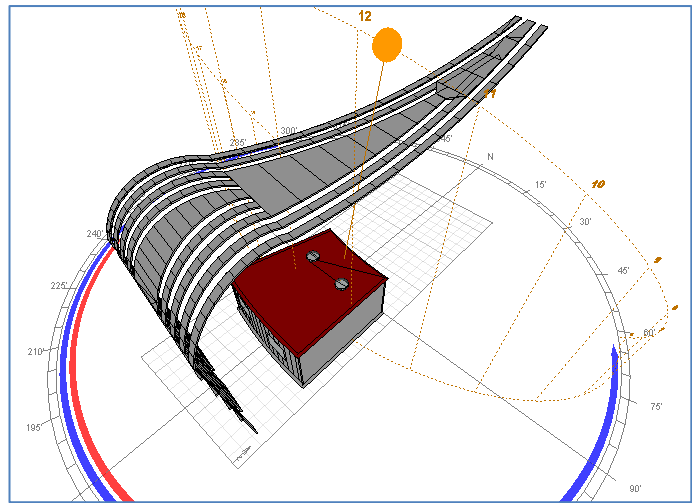


Figure 153 : Modélisation de l'espace étudié pour le cas amélioré sur Ecotect. Source : l'auteur.

Commentaire :

A midi les valeurs du **FLJ** varient de 2,4 à 7,2 % à l'intérieur du laboratoire sur une paillasse (un plan de travail) de 1m20 de hauteur. Les valeurs du FLJ sont au-delà de 2.76%.

Dans une telle heure de la journée ou le niveau d'éclairement est au summum, nous avons pu arriver à un éclairage uniformément repartit sur l'espace grâce à la taille et la position des deux ouvertures toit, avec une valeur moyenne qui ne dépasse pas 4,8 % de valeur moyenne de FLJ. (Voir Figure 154).

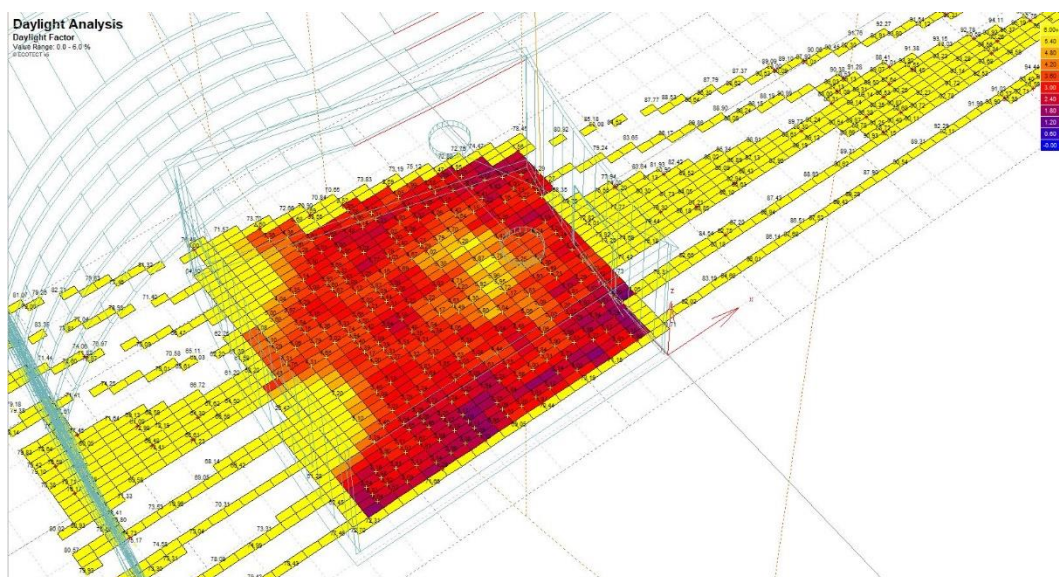


Figure 154 : valeur du FLJ à ciel dégagé (cas amélioré été). Source : l'auteur.

Conclusion :

De ce qui précède, nous avons remarqué que les résultats obtenus après intervention sur le cas d'étude, dans le laboratoire étudié, se sont améliorés.

Afin d'assurer une bonne efficacité de l'éclairage naturel dans un laboratoire, tout en contrôlant l'impact du soleil, et sans empêcher la pénétration des rayons solaires non gênants, nous devons assurer :

- Une bonne orientation et disposition des fenêtres de préférence avoir plusieurs orientations des fenêtres (fenêtre de mur et ouverture de toit) pour profiter d'un éclairage naturel durant toutes les heures du jour et jusqu'au fond de l'espace.
- La protection solaire doit être bien étudiée et dimensionnée afin de permettre la bonne pénétration de la lumière naturelle.
- La taille et la disposition des ouvertures est un paramètre très important pour optimiser l'éclairage naturel

Autres paramètres qui interviennent dans le confort visuel et que nous n'avons pas pris en compte lors de la simulation :

- Un bon choix de type de vitrage ;
- Choix des teintes claires (laquées ou satinées) pour les murs et mobilier du laboratoire ;
- L'utilisation des plantes grimpantes pour tamiser les rayons solaires et profiter de l'éclairage naturel sans être exposé aux rayons directs du soleil.

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire est une conception durable d'un laboratoire de recherche en architecture et en génie civil, qui atteint un haut niveau de performance en matière d'impact environnemental du bâtiment. Cette construction durable vise notamment à privilégier le confort et la santé des occupants par l'usage de matériaux de haute qualité sanitaire et environnementale.

On a donc, adopté une méthodologie d'analyse conceptuelle basée essentiellement sur une recherche sémantique afin de cerner au mieux le sens des mots-clés de notre travail dans un contexte scientifique par rapport aux notions de base de la conception durable. Ainsi, Afin de mieux cerner la thématique et découvrir les principes de conception de laboratoire de recherches, on a réalisé une analyse exploratoire de quelques exemples similaires,

Ensuite on a défini le contexte du projet à réaliser, à savoir le site du projet, son milieu environnant, ses données géographiques et climatiques ainsi que la typologie architecturale de la région, afin de produire une sorte de vocabulaire architectural qui se conjugue avec notre projet et son environnement.

Pour l'évaluation du confort thermique et visuel, on a utilisé le logiciel de simulation Energyplus pour évaluer le confort thermique et Ecotect pour évaluer le confort visuel. Nous avons également présenté quelques solutions techniques adoptées à l'échelle du projet et quelques dispositifs environnementaux à l'échelle de notre assiette d'intervention, telle que la disposition de la végétation au niveau de la périphérie du bâtiment, des toitures végétalisées, l'installation des panneaux photovoltaïques, ...etc.

Cette simulation a démontré que l'utilisation d'autres matériaux qui sont plus performants en matière d'isolation thermique, la création du patio et l'optimisation des tailles des ouverture, sont des tâches indispensables pour atteindre un confort thermique et visuel dans les laboratoires.

A la fin de ce travail, la simulation thermique et l'évaluation des différents paramètres du confort, nous ont permis de comprendre l'importance du choix des matériaux de construction lors de la conception du projet, l'orientation du bâtiment ainsi que la maîtrise des données du climat et du site. Cette étape est essentielle dans le processus de conception d'un projet architectural qui s'insère dans un cadre environnemental, ce sont des outils d'aide à la décision pour améliorer la qualité et l'efficacité énergétique du bâtiment.

Bibliographie

1. s.d. <http://www.cobse.fr/techniques_specifiques.html>.
2. APRUE. consommation énergétique finale de l'algérie, chiffres clés année 2012. Ministère de l'énergie et des mines., 2014.
3. architecture bioclimatique. s.d. <<https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-architecture-bioclimatique-10514/>>.
4. Bodart, Magali. «Conception d'espaces éclairés naturellement validée par des simulations informatiques et un travail en laboratoire.» Université catholique de Louvain (UCL), s.d.
5. Cadiergues, Roger. «Les bases de l'éclairage.» Guide RéfCad 2 : nS35.e. XPAIR, s.d.
6. Campus da Fiocruz Ceará / Architectus S / S. 1 Mars 2019. <<https://www.archdaily.com/898698/campus-da-fiocruz-ceara-architectus-s-s>>.
7. CHERIER, Mohamed Kamel. «L'UTILISATION PASSIVE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE DANS LES HABITATS DE GHARDAÏA.» thèse de doctorat. UNIVERSITÉABOU-BEKRBELKAID- TLEMCEN, 2018.
8. Climatologie albédo. s.d. <<https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-albedo-1023/>>.
9. DAICH. S. «Le confort visuel et l'ambiance lumineuse dans l'espace architectural.» thèse de doctorat. Université de Biskra, 2011.
10. de BEAUVAIS, Charles-Albert. «Définition et rôle du programme, Programmes d'architecture.» Techniques Ingénieur (1995).
11. Définition et composantes. 2013. <<http://www.toitvertclaro.ca/fr/definition>>.
12. DUNGIA, Pierre BWAZU. «mémoire.» La taudification de la commune de Lingwala : causes, conséquences et perceptive de rénovation en quartier durable. Institut supérieur d'architecture et d'urbanisme(I.S.A.U):Kinshasa, 2012.
13. ECLAIRAGE ZÉNITHAL. 2015. <<https://www.natureetconfort.fr/eclairage-zenithal/>>.
14. Eclairage zénithal naturel : deux idées lumineuses. 2015. <<http://ameliorerchezmoi.com/eclairage-zenithal-naturel-deux-idees-lumineuses/486>>.
15. Ecotect. 2007. <<http://logiciels.i3er.org/ecotect.html>>.
16. Givoni, Baruch. L'homme, l'architecture et le climat. Paris: Le moniteur, 1978.
17. Laboratoires de recherches. s.d. <http://www.lagh-univ.dz/accueil/?page_id=7460>.
18. LABORATOIRES DE RECHERCHES. Février 2019. <http://www.lagh-univ.dz/accueil/?page_id=7460>.

19. Le bois bionique : futur de nos gratte-ciels. 2016.
<<https://www.franceinter.fr/emissions/futur-proche/futur-proche-21-octobre-2016>>.
20. Le polystyrène extrudé, économique et très isolant. s.d. <<https://conseils-thermiques.org/contenu/polystyrene-extrude.php>>.
21. Le-concept-de-lab. 31 Mai 2016. <<http://www.lmintervention.fr/?Le-concept-de-lab>>.
22. Les coordonnées géographiques de Laghouat, Algérie. s.d.
<<http://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=2491191>>.
23. Les principes de base d'une conception bioclimatique. s.d. <<https://www.e-rt2012.fr/explications/conception/explication-architecture-bioclimatique/>>.
24. Liébard, Alain et André De Herde. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique. Baume-les-dames, France: Commission européenne, ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie), 2005.
25. Lorthé, Wildy Taylor. PANNEAU SOLAIRE TRANSPARENT : UNE TECHNOLOGIE RÉVOLUTIONNAIRE ! s.d. <<https://www.bienchezmoi.fr/conseils/energies-renouvelables/panneaux-photovoltaiques/panneau-photovoltaique-transparent>>.
26. Organisation météorologique mondiale. «zone semi-aride.» s.d.
<<https://public.wmo.int/fr>>.
27. panneaux solaires transparentes. s.d. <<http://www.solar-constructions.com/wordpress/panneaux-transparent/>>.
28. Peuportier, Bruno. Eco-conception des bâtiments et des quartiers. Paris: Presses MINES ParisTech, 2008.
29. Quid de votre éclairage extérieur ? s.d. <<https://www.livios.be/fr/info-construction/finitions/eclairage/quid-de-votre-eclairage-exterieur/>>.
30. RUBERG., W. C. BROWN K. Facteurs de performance des fenêtres. Conseil national de recherches du Canada, 1988.
31. Saidi Hassani Alaoui, Mohamed. «Modélisation Analytique et Simulation Numérique de l'Evaluation de l'Efficacité Energétique des Bâtiments.» 2016.
32. service interprofessionnel de santé au travail. «l'éclairage des lieux de travail.» 2014.
33. Sjöholm, H. Foresterie en zones arides: Guide à l'intention des techniciens de terrain. Rome: FAO, 1992.
34. Spitz, Clara. «Analyse de la fiabilité des outils de simulation et des incertitudes de métrologie appliquée à l'efficacité énergétique des bâtiments.» Université de Grenoble, 2012.
35. the American institute of architects . s.d. <<https://www.aiatopen.org/node/432>>.

36. TOUT SAVOIR SUR L'ÉCLAIRAGE SOLAIRE. s.d. <<https://www.calculeo.fr/Eco-travaux/Panneaux-solaires-photovoltaiques/L-eclairage-solaire>>.
37. UMD Swenson Civil Engineering Building / Ross-Barney Architects. 8 décembre 2011. <<https://www.archdaily.com/189461/umd-swenson-civil-engineering-building-ross-barney-architects>>.
38. Un vitrage intelligent qui s'adapte à l'ensoleillement. s.d. <<https://www.connaissancedesenergies.org/un-vitrage-intelligent-qui-s-adapte-a-l-ensoleillement-111129>>.
39. Uzima, Innocent Bora. «Étude de l'impact et la valeur ajoutée de la recherche électronique sur les productions scientifiques des universités de l'est de la République démocratique du Congo.» Mémoire de master. Sciences de l'information et de la communication, 2012.
40. Ventilation. s.d. 17 novembre 2018 <<https://www.climamaison.com/lexique/ventilation.htm>>.
41. Yannick, Sutter, et al. «guide.» l'éclairage naturel. les guides bio-tech, Mars 2014.