



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 : BOUBRIMA NOUR

DOMAINE : Architecture, urbanisme et métiers de la Ville

FILIERE : Architecture

OPTION : Architecture, Environnement et Technologie

Intitulé

**Conception durable d'un Centre de recherche en intelligence artificielle pour
la robotique des véhicules électriques à Laghouat**

Jury de soutenance :

Nom Prénom	Grade	Qualité
Mr. BENCHEIKH Hmida	Professeur	Président
Mr. AMIEUR Rachid	MAA	Examineur
Mr. MOKEDDEM Mahmoud	MAA	Rapporteur
Mr. BENCHEIKH Abderrazak	MAA	Rapporteur
Mlle. TITI Meriem	Doctorante	Corapporteur

Promotion : juin 2024



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



Université Amar Thelidji- Laghouat
FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

RESUME DE MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Architecture, urbanisme et métiers de la Ville

Filière : Architecture

Option : Architecture, environnement et technologie

Thème : Conception durable d'un Centre de recherche en intelligence artificielle pour la robotique des véhicules électriques.

Présenté par :

- BOUBRIMA Nour

Encadré par :

- Mr. MOKEDDEM Mahmoud
- Mr. BENCHEIKH Abderrazak

Résumé :

Laghouat avec sa situation possède des potentialités pour accueillir plusieurs infrastructures de recherches scientifique et technologique dans le domaine des véhicules électrique à Laghouat participe à domicilier cette technologie. La conception d'une infrastructure dédiée à cette activité représente un défi majeur face aux contraintes environnementales et aux impératif spatiales, fonctionnelles et de durabilité. Elle s'appuie sur un processus conceptuel dans l'objectif de créer un environnement intérieur favorable pour l'exécution des tâches et le bien-être. La création d'un projet durable dans son aspect de confort et de performance énergétique a été prouvé par le recours à la combinaison entre l'orientation judicieuse (sud) de la forme compacte ainsi que la création des espaces protégés (passage couvert, patios et atriiums) et les dispositifs d'occultation et l'utilisation de l'inertie et de l'isolation thermique ainsi que le vitrage ont assurés potentiellement une dimension de durabilité (conforts intérieurs et performance énergétique). Pour vérifier l'impact de solution proposée on a procédé par la simulation numérique d'un laboratoire des prototypes à l'aide d'un logiciel Rhino/grasshopper et les plugin ladybugtools pour l'évaluation et l'optimisation de la performance énergétique et le confort thermique sous les conditions de climat chaud et aride. Une amélioration substantielle en matière de performance énergétique d'environ 40% et une réduction des heures d'inconfort d'environ 61% ont été effectué en utilisant le béton cellulaire autoclave au niveau des parois en plus de l'utilisation de vitrage a basse émissivité.

Mots clés : centre de recherche en robotique, Intelligence artificielle, Laghouat, climat chaud et aride, Performance énergétique, confort thermique, simulation numérique.



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

Université Amar Thelidji- Laghouat



FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE
SECTOR: ARCHITECTURE

ABSTRACT OF MASTER MEMORY

Domain: Architecture, Urban Planning and City Professions.

Sector: Architecture

Specialty: Architecture, environment et technology

Theme: Sustainable design of an Artificial Intelligence Research Centre for Electric Vehicle robotics.

Presented by:

- BOUBRIMA NOUR

Supervised by:

- MOKEDDEM Mahmoud
- BENCHEIKH Abderrazak

Abstract:

With its strategic location, Laghouat has the potential to host several scientific and technological research infrastructures. A research center in the field of electric vehicles in Laghouat contributes to establishing this technology. The design of an infrastructure dedicated to this activity represents a major challenge facing environmental constraints and spatial, functional, and sustainability requirements. It relies on a conceptual process with the objective of creating an interior environment favorable for task execution and well-being. The creation of a sustainable project in terms of comfort and energy performance has been proven through the combination of judicious orientation (south) of the compact form as well as the creation of protected spaces (covered passages, patios, and atriums), shading devices, the use of thermal inertia and insulation, as well as glazing, which potentially ensure a dimension of sustainability (interior comfort and energy performance). To verify the impact of the proposed solution, a numerical simulation of a prototype's laboratory was carried out using Rhino/Grasshopper software and the Ladybug Tools plugin for evaluating and optimizing energy performance and thermal comfort under hot and arid climate conditions. A substantial improvement in energy performance of around 40% and a reduction in discomfort hours of around 61% were achieved by using autoclaved aerated concrete for the walls in addition to the use of low-emissivity glazing.

Keywords: Research center in robotics, artificial intelligence, Laghouat, hot and arid climate, energy performance, thermal comfort, numerical simulation.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة عمار ثليجي - الأغواط



كلية الهندسة المعمارية والمدنية
قسم الهندسة المعمارية
ملخص مذكرة الماستر

الميدان: هندسة العمارة وتخطيط المدن وتداوالت المدينة

الشعبة: هندسة معمارية

التخصص: هندسة معمارية وبيئة

عنوان : التصميم المستدام لمركز أبحاث الذكاء الاصطناعي للروبوتات في المركبات الكهربائية

تقديم الطالبة:

• بوبريمة نور

الأساتذة المؤطرين:

• مقدم محمود

• بن الشيخ عبد الرزاق

ملخص المذكرة:

تمتلك الأغواط بموقعها الاستراتيجي إمكانات لاستضافة العديد من البنى التحتية للبحث العلمي والتكنولوجي في مجال المركبات الكهربائية في الأغواط مما يساهم في توطين هذه التكنولوجيا. يمثل تصميم بنية تحتية مخصصة لهذا النشاط تحديًا كبيرًا في مواجهة القيود البيئية والمتطلبات المكانية والوظيفية والاستدامة. يعتمد على عملية مفاهيمية تهدف إلى خلق بيئة داخلية مواتية لتنفيذ المهام والرفاهية. تم إثبات إنشاء مشروع مستدام من حيث الراحة والأداء الطاقوي من خلال الجمع بين التوجيه الحكيم (جنوبي) للشكل المضغوط وإنشاء مساحات محمية (ممرات مغطاة ، وفناءات داخلية وأتريوم) وأجهزة تظليل واستخدام العطالة والعزل الحراري وكذلك الزجاج ، مما يضمن بشكل محتمل بُعدًا من الاستدامة (الراحة الداخلية والأداء الطاقوي). للتحقق من تأثير الحل المقترح ، تم إجراء محاكاة رقمية لمختبر النماذج الأولية باستخدام برنامج Rhino/Grasshopper و إضافة Ladybug Tools لتقييم وتحسين الأداء الطاقوي والراحة الحرارية في ظل ظروف المناخ الحار والجاف. تم تحقيق تحسن كبير في الأداء الطاقوي بنسبة حوالي 40٪ وانخفاض في ساعات عدم الراحة بنسبة حوالي 61٪ باستخدام الخرسانة الخلوية المصمتة على جدران الغرف بالإضافة إلى استخدام زجاج منخفض الانبعاثية.

الكلمات المفتاحية : مركز بحث في الروبوتات، الذكاء الاصطناعي، الأغواط، مناخ حار وجاف، أداء طاقوي، راحة حرارية، محاكاة رقمية.

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie Dieu le miséricordieux de m'avoir donné Foi, volonté et courage pour réaliser ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes encadrants, Mr. Bencheikh Abderrezzak et Mr. Mokeddem Mahmoud, qui ont fait preuve d'une grande générosité en me donnant tout leur temps et tout leur soutien. Leurs précieuses directives ont été d'un apport inestimable pour la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier Mlle Titi Meriem pour ces conseils et encouragements au cours de la réalisation de ce document.

Mes vifs remerciements s'adressent aux membres du jury Mr. BENCHEIKH Hmida et Mr. AMIEUR Rachid pour m'avoir fait l'honneur d'examiner mon travail.

Mes sincères remerciements s'adressent à Monsieur Kebaili Noureddine et Madame Balli Saida éminents professeurs qui ont été les initiateurs de ma découverte du fascinant univers de l'architecture, jalonnant et guidant avec bienveillance mes premiers pas dans cette formation.

Je tiens également à exprimer ma vive reconnaissance à Monsieur Karim Dehina, mon tuteur dévoué en licence, pour son accompagnement assidu et ses judicieux conseils, qui ont été d'un apport considérable.

Ma gratitude s'étend à mon professeur Oubaid Hadjer pour ces précieuses orientations et recommandations avisées au cours de ma formation en licence.

Ma gratitude s'étend également à mon professeur Benaarfa Kamel pour ces conseils et recommandations pratiques au cours de ma formation en master.

Je remercie sincèrement l'ensemble du corps professoral pour le savoir inestimable qu'ils m'ont transmis.

Enfin, je témoigne toute ma reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ma formation architecturale par leur soutien et leur apport enrichissant.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à l'âme de mon cher professeur Mr. MZAOUEKH LAKHDAR, qui était une source intarissable de connaissances et empreinte de noblesse morale. Je resterai toujours reconnaissante pour ses enseignements.

A mes merveilleux parents, les piliers inconditionnels de ma vie. Il n'existe pas de mots assez forts pour exprimer ma profonde gratitude, vous avez été la lumière qui a éclairé mon chemin dans les moments les plus sombres. Cette réussite est la vôtre autant que la mienne. Votre prières, présence et encouragement ont été mon moteur tout au long de ce parcours universitaire.

A ceux qui sont bien plus que simples frères et sœurs Ayoub, Ikbal, Aridj et Imen vous êtes mes plus fervents supporters, Cette réussite je la partage avec vous.

A tous mes chers enseignants en architecture de l'université Ammar Thlidji Laghouat.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	I
Remerciement.....	IV
Dédicace.....	V
Table des matières.....	VI
Liste des figures.....	X
Liste des tableaux.....	XVIII
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	01
Introduction.....	01
Problématique.....	02
Hypothèse.....	03
Objectifs.....	03
Structure générale du mémoire.....	03
CHAPITRE I : ÉTUDE THEMATIQUE.....	05
Introduction.....	06
Le premier volet.....	04
I.1. Définition des concepts liés à l’environnement.....	04
I.1.1 L’environnement.....	04
I.1.2. Architecture durable.....	06
I.1.2.1 Les principes clés de l'architecture durable.....	06
I.1.3. Les zones arides et semi arides.....	07
I.1.3.1. L’indice d’aridité.....	07
I.1.3.2. Le climat désertique chaud.....	07
I.1.4. Stratèges passives bioclimatique.....	08
I.1.4.1. Stratègie du chaud (confort d’hiver)	08
I.1.4.2. Stratègie du Froid (confort d’été)	09
I.1.5. Notion de confort.....	11
I.1.5.1. Le confort hygrothermique.....	11
I.1.5.2. Confort thermique.....	11
I.1.5.3. Confort visuelle.....	12
I.1.5.4. Confort respiratoire.....	12
I.1.6. Consommation énergétique.....	13
I.1.6.1. La performance énergétique.....	13
I.1.6.2. Efficacité énergétique.....	13
I.1.6.3. Classification des bâtiments performants.....	13

I.1.7. Les labels.....	14
I.1.7.1. Présentation de LEED.....	15
I.1.7.2. Objectifs de LEED.....	15
I.1.7.3. Critères de LEED.....	15
I.1.7.4. L'évaluation LEED.....	16
I.2. Définition des concepts liés aux thème.....	16
I.2.1. La recherche en intelligence artificielle.....	16
I.2.2. La robotique des véhicules électriques	16
I.2.3. Les infrastructures de recherche liées à l'intelligence artificielle.....	17
I.2.4. Centre de recherche en intelligence artificielle pour la robotique des véhicules électriques.....	17
I.2.4.1. Ses axes de recherche.....	17
Le deuxième volet.	18
I.3. Analyse des exemples.....	18
I.3.1. Analyse d'exemple 01 : Centre national d'innovation automobile de l'Université de Warwick (Royaume-Uni)	18
I.3.1.1. Critère de Choix	18
I.3.1.2. Présentation du projet.....	18
I.3.1.3. Situation du projet.....	19
I.3.1.4. Accessibilité.....	19
I.3.1.5. Voisinages du projet	19
I.3.1.6. Plan de masse.....	19
I.3.1.7. La volumétrie.....	20
I.3.1.8. Analyse des façades.....	20
I.3.1.9. Analyse des plans.....	22
I.3.1.10. Les coupes.....	23
I.3.2. Analyse d'exemple 02 : Carroll A. Campbell Jr. Graduate Engineering Center at Clemson University united state.....	25
I.3.2.1. Critère de Choix	25
I.3.2.2. Présentation du projet.....	25
I.3.2.4. Voisinages du projet.....	26
I.3.2.3. Situation du projet.....	26
I.3.2.5. Accessibilité.....	26
I.3.2.6. La volumétrie.....	27
I.3.2.7. Analyse des façades.....	27

I.3.2.8. Lecture et analyse des plans	28
I.3.2.9. Les coupes.....	29
I.3.2.7. Aspect de durabilité.....	30
I.3.3. Analyse d'exemple 03: The CANMET Material Technology Laboratory.....	30
I.3.3.1. Critère de Choix.....	30
I.3.3.2. Présentation du projet.....	30
I.3.3.3. Situation du projet.....	31
I.3.3.4. Voisinages du projet.....	31
I.3.3.5. Plan de masse.....	31
I.3.3.6. La volumétrie.....	31
I.3.3.7. Analyse des façades.....	31
I.3.3.8. Lecture et analyse des plans.....	32
I.3.3.9. Aspects de durabilité dans le projet.....	33
Synthèse	35
CHAPITRE II : ETUDE CONTEXTUELLE.....	37
Introduction.....	38
II.1. Echelle territoriale de la ville de Laghouat.....	38
II.1.1. Situation géographique	38
II.1.2. Situation Astronomique.....	38
II.2. Les données climatiques de ville de Laghouat	38
II.2.1. La zone climatique	38
II.2.1. Les températures	39
II.2.2. Humidité relative.....	39
II.2.3. Les précipitations	40
II.2.4. La durée d'ensoleillement.....	40
II.2.5. Le rayonnement solaire.....	40
II.2.6. Les Vents.....	41
II. 2.7. Le diagramme psychrométrique de la ville Laghouat	41
II.3. Echelle urbaine.....	42
II.3.1. Système routier, activités d'enseignement supérieur et industriel dans la ville.....	42
II.3.2. Critère de choix de site.....	42
II.3.3. Analyse du site.....	43
II.3.3.1 Accessibilité et flux extérieur.....	43
II.3.3.2. Composantes de site.....	43
II.4. Echelle locale.....	44

II.4.2. Critère de choix de terrain.....	44
II.4.1. Analyse du terrain d'intervention.....	44
II.4.2.1. Le voisinage.....	44
II.4.2.2. Typologies des équipements avoisinantes.....	44
II.4.2.3. Impact de l'ensoleillement et les vents sur le terrain.....	45
II.4.2.4. Morphologie et topographie du terrain.....	46
Synthèse.....	46
CHAPITRE III : ETUDE PROGRAMMATIQUE.....	48
Introduction.....	49
III.1. Les objectifs de la programmation.....	49
III.2. Les entités du projet.....	49
III.3. Le programme quantitatif.....	50
III.4. Le programme qualitatif.....	53
Synthèse.....	62
CHAPITRE IV : ETUDE ARCHITECTURALE.....	63
Introduction.....	64
IV.1. Genèse du projet	64
IV.1.1. Etat de lieu.....	64
IV.1.2. Choix des accès.....	64
IV.1.3. Mode d'occupation.....	65
IV.1.4. Zoning des entités.....	65
IV.1.5. Zoning extérieur.....	66
IV.1.6. Les parcours.....	66
IV.1.7. La trame et la géométrie.....	67
IV.2. L'idée métaphorique.....	67
IV.2.1. La formulation de l'idée.....	67
IV.2.2. Intégration des entités.....	68
IV.2.3. Développement de la forme du projet.....	68
IV.3. Présentation du plan de masse.....	70
IV.4. Description de conception des plans intérieurs.....	72
IV.4.1. Organisation du projet.....	73
IV.4.2. La circulation intérieure.....	73
IV.4.1.1. La circulation horizontale.....	73
IV.4.1.2. La Circulation Verticale.....	73
IV.5. La conception des façades.....	74

IV.6. Les ambiances intérieures.....	77
CHAPITRE V : ETUDE TECHNIQUE.....	80
Introduction.....	81
V.1. Aménagement écologique des sites.....	81
V.2. Gestion efficace de l'eau.....	84
V.3. Énergie et atmosphère.....	86
V.4. La qualité de l'environnement intérieur.....	91
V.5. Système structurel et Matériaux	93
CHAPITRES VI : SIMULATION NUMÉRIQUE.....	98
Introduction.....	99
VI.1. Problématique.....	99
VI.2. Hypothèses.....	99
VI.3. Objectif de l'étude.....	99
VI.4. Aspect théorique.....	99
VI.4.1. La performance énergétique.....	99
VI.4.2. Confort thermique.....	100
VI.4.3. Confort visuel	101
VI.5. Aspect expérimental (simulation)	102
VI.5.1. Outils de simulation utilisée.....	102
VI.5.2. Présentation des cas de simulation.....	104
VI.5.2.1. Résultats de la simulation du cas de base.....	105
VI.5.2.1.1. La performance énergétique.....	105
VI.5.2.1.2. Le confort thermique.....	105
VI.5.2.1.3. Le confort visuel.....	106
VI.5.2.2. Optimisation du cas de base.....	106
VI.5.2.3. Résultat de la simulation.....	107
Conclusion.....	107
Conclusion générale.....	109
ANNEXES.....	111

LISTE DES FIGURE :

Figure I-01 : Stratégie du chaud.....	08
Figure I-02 : Mur Trombe.	08
Figure I-03 : serre bioclimatique.....	08
Figure I-04 : Stratégie du Froid.	09
Figure I-05 : Schéma d'une isolation de maison individuelle.....	10
Figure I-06 : Ventilation par atrium.....	10
Figure I-07 : principe de cheminée de ventilation.....	10
Figure I-08 : Mur végétal.....	11
Figure I-09 : Confort thermique.....	11
Figure I-10 : paramètres de confort visuel.....	12
Figure I-11 : La qualité de l'air intérieur.....	13
Figure I-12 : Le siège du groupe Transdev à Issy-Les-Moulineaux.....	13
Figure I-13 : Le siège du groupe Legendre à Gif-sur-Yvette.....	14
Figure I-14 : La Cité des arts et de la culture à Chambéry.....	14
Figure I-15 : carte mondiale montrant les célèbre Label.	14
Figure I-16 : Insigne de LEED.....	15
Figure I-17 : Critères de LEED.....	15
Figure I-18 : Niveaux de certification LEED.....	16
Figure I-19 : Les infrastructures de recherche.....	17
Figure I-20 : Entrée principale du projet.....	18
Figure I-21 : Plan de situation du projet.	18
Figure I-22 : plan d'accessibilité.....	19
Figure I-23 : Plan de voisinage du projet.....	19
Figure I-24 : les accès du projet.....	19
Figure I-25 : Occupation de la parcelle.....	20
Figure I-26 : Vue aérienne du projet.....	20
Figure I-27 : la façade principale (sud-ouest)	20
Figure I-28 : la façade latérale (Nord - est)	21
Figure I-29 : la façade principale (sud-ouest)	21
Figure I-30 : La façade donnant sur le parking.....	21
Figure I-31 : Plan de RDC.....	22
Figure I-32 : Plan du 1 ^{er} étage.	22
Figure I-33 : Plan du 2 ^{er} étage.....	23
Figure I-34 : Plan du 3 ^{er} étage.....	23

Figure I-35: section A-A.....	23
Figure I-36: section B-B.....	24
Figure I-37 : Entrée principale du projet.	25
Figure I-38 : Plan de situation du projet.	25
Figure I-39 : Plan de voisinage du projet.....	26
Figure I-40 : plan d'accessibilité.	26
Figure I-41 : Occupation de la parcelle.	26
Figure I-42 : volumétrie du projet.	27
Figure I-43 : façade principale.	27
Figure I-44 : la façade sud.	27
Figure I-45 : Plan de RDC.	28
Figure I-46 : Plan du 1 ^{er} étage.	28
Figure I-47 : Plan du 2 ^{er} étage.....	29
Figure I-48 : Plan du 3 ^{er} étage.	29
Figure I-49: section A-A.....	29
Figure I-50 : Entrée principale du projet.....	30
Figure I-51 : Plan de situation du projet.....	31
Figure I-52 : Mode d'occupation de la parcelle.....	31
Figure I-53 : la volumétrie de projet.....	31
Figure I-54 : Façade principale.....	32
Figure I-55 : Façade ouest avec protection solaire.....	32
Figure I-56 : Plan du RDC.....	32
Figure I-57 : Plan du du 1 ^{er} étage.....	32
Figure I-58 : Plan du 2 ^{er} étage.....	33
Figure I-59 : Stratégies de chauffage et de refroidissement.....	33
Figure I-60 : Stratégie de réduction et de conservation de la consommation d'eau.....	34
Figure I-61 : Stratégies de Ventilation.....	34
Figure I-62 : coupe de Lumière du jour et vues.....	35
Figure I-63 : Atrium rempli de lumière.....	35
Figure II-01 : Carte géographique de la ville de Laghouat.	38
Figure II-02 : Zones climatiques en Algérie.....	38
Figure II-03 : Les températures.....	39
Figure II-04 : L'humidité relative.	39
Figure II-05 : Précipitation.....	40
Figure II-06 : La durée d'ensoleillement de Laghouat.....	40

Figure II-07 : le rayonnement solaire.....	40
Figure II-08 : Les Vents.	41
Figure II-09 : Le diagramme psychrométrique de la ville Laghouat.....	41
Figure II-10 : Système routier et ses annexes.	42
Figure II-11 : Les activités d'enseignement supérieur et industrielle.....	42
Figure II-12 : Situation du site par rapport à la ville.....	42
Figure II-13 : Accessibilité de site.	43
Figure II-14 : les flux extérieurs de site.....	43
Figure II-15 : Les composantes de site.....	43
Figure II-16 : la Situation du site d'intervention par rapport au nouveau pôle Universitaire.	44
Figure II-17 : environnement immédiat de site d'intervention.	44
Figure II-18 : Projection de l'ensoleillement et des vents sur le terrain.....	45
Figure II-19 : Profil d'élévation A-A.....	46
Figure II-20 : Profil d'élévation B-B.....	46
Figure II-21 : morphologie et dimensions du terrain.....	46
Figure III-01 : objectifs de programmation.	49
Figure III-02 : Les entités.....	49
Figure III-03 : Laboratoire de développement électrique.....	53
Figure III-04 : Laboratoire de mécatronique et robotique	54
Figure III-05 : Laboratoire d'élaboration des batteries.....	54
Figure III-06 : Salle de simulation.....	55
Figure III-07 : Laboratoires d'ingénierie.....	55
Figure III-08 : Laboratoire des prototypes.....	56
Figure III-09 : vestiaires.....	57
Figure III-10 : Cellule d'essais technique.....	57
Figure III-11 : espace d'exposition.....	58
Figure III-12 : Salle de cours.....	58
Figure III-13 : Salle de documentation.....	59
Figure III-14 : bureaux de recherche.....	60
Figure III-15 : norme de Salle de projection.....	60
Figure III-16 : Salle de projection.....	61
Figure III-17 : Salle informatique.....	61
Figure III-18 : Bureau administratif.....	62
Figure III-19 : Bureau secrétaire.....	62

Figure IV-01 : Etat du lieu du terrain.....	64
Figure IV-02 : Le choix des accès.....	64
Figure IV-03 : mode d'occupation.....	65
Figure IV-04 : Zoning des entités.....	65
Figure IV-05 : Zoning extérieur.....	66
Figure IV-06 : Les parcours.....	66
Figure IV-07 : les trames.....	67
Figure IV-08 : le choix d'une source d'inspiration.....	67
Figure IV-09 : La projection des cylindres sur le terrain.....	67
Figure IV-10 : L'articulation des cylindres.	68
Figure IV-11 : Intégration des entités sur l'idée.....	68
Figure IV-12 : Etape 01.....	68
Figure IV-13 : Etape 02.	68
Figure IV-14 : Etape 03.....	69
Figure IV-15 : Etape 04.....	69
Figure IV-16 : Etape 05.....	69
Figure IV -17 : plan de situation.	69
Figure IV-18 : le plan de masse.....	70
Figure IV-19 : vue perspective sur le projet.....	71
Figure IV-20 : Organisation du rez-de-chaussée - niveau +0.50m.....	71
Figure IV-21 : Organisation du 2eme étage - niveau +4.59 m.....	72
Figure IV-22 : : La circulation horizontale.	72
Figure IV-23 : La circulation verticale.....	73
Figure IV-24 : vue sur l'escalier.....	73
Figure IV-25 : façade principale Est.....	73
Figure IV-26 : vues sur la façade sud (entité de recherche)	74
Figure IV-27 : façade sud (salle de classe)	75
Figure IV-28 : façade nord.....	75
Figure IV-29 : façade ouest.....	76
Figure IV-30 : Vue intérieur sur le hall d'accueil sécurisé.....	76
Figure IV-31 : Vue sur l'atrium (entité de recherche)	77
Figure IV-32 : Vue sur l'espace sous patio.	77
Figure IV-33 : Vue sur l'espace d'exposition des chercheures.	77
Figure IV-34 : Vue sur l'atrium (entité pédagogique)	78
Figure IV-35 : Vue sur l'espace d'exposition public.	78

Figure IV-36 : Vue sur les salles de classe.....	78
Figure IV-37 : Vue sur l'extension de cafeteria.....	79
Figure V-01 : coupe d'une toiture végétalisée.....	81
Figure V-02 : Terrasse végétalisée (façade ouest et nord)	81
Figure V-03 : Terrasse végétalisée (façade sud)	81
Figure V-04 : coupe d'un mur végétalisé	82
Figure V-05 : mur végétalisé (façade nord)	82
Figure V-06 : mur végétalisé (façade ouest)	82
Figure V-07 : revêtement de sol en pierre reconstituée.....	82
Figure V-08 : Revêtements végétalisés.....	82
Figure V-09 : parking avec Pavé béton drainant.....	83
Figure V-10 : passage couvert.....	83
Figure V-11 : poubelles intelligentes.....	83
Figure V-12 : poubelles intelligentes (parking)	83
Figure V-13 : espèces des plantes utilisées.	84
Figure V-14 : récupération des eaux usées.....	84
Figure V-15 : Système de détection des fuites.....	85
Figure V-16 : système de détection des fuites avec capteurs à câble.....	85
Figure V-17 : Robinet intelligent.....	85
Figure V-18 : panneaux photovoltaïque flexible.....	86
Figure V-19 : panneaux photovoltaïque flexible du projet.....	86
Figure V-20 : pergolas avec panneaux photovoltaïque (sud).....	86
Figure V-21 : parking avec panneaux photovoltaïque.....	86
Figure V-22 : éclairage à énergie solaire.....	86
Figure V-23 : dalle podo-électrique.....	87
Figure V-24 : vitrage intelligent des atriums et cage d'escalier.....	87
Figure V-25 : vitrage solaire photovoltaïque.....	88
Figure V-26 : vitrage solaire photovoltaïque (façade Sud).....	88
Figure V-27 : Arbre à vent (est).	88
Figure V-28 : toiture ventilée	88
Figure V-29 : Ventilation par atrium.....	89
Figure V-30 : Ventilation par patio.....	89
Figure V-31 : Poutre froide.....	89
Figure V-32 : Schéma de principe de puits canadien.....	90
Figure V-33 : Façade cinétique.....	91

Figure V-34 : Façade cinétique (ouest).	91
Figure V-35 : mur-rideau.....	92
Figure V-36 : mur-rideau (façade nord)	92
Figure V-37 : Brise soleil horizontale (façade sud)	92
Figure V-38 : choix de système structurel.....	93
Figure V-39 : Précontrainte par post tension.....	93
Figure V-40 : Etapes de mise en œuvre de la précontrainte par post tension interne	93
Figure V-41 : Vues sur la structure en béton précontraint.....	94
Figure V-42 : Plancher mixte à dalle collaborant.....	94
Figure V-43 : poteaux mixtes.	94
Figure V-44 : Poutre mixte.	95
Figure V-45 : Vues sur la structure mixte.....	95
Figure V-46 : l'emplacement des joints.	95
Figure V-47 : joints de dilatation.....	96
Figure V-48 : joints de rupture.....	96
Figure V-49 : Béton cellulaire	96
Figure V-50 : Parpaings isolants.....	96
Figure V-51 : Le Micronal PCM	97
Figure V-52 : Echantillons de laines végétales.....	97
Figure VI-01 : PPD prévu par rapport au PMV.....	100
Figure VI-02 : facteur de lumière du jour (FLG).	101
Figure VI-03 : logiciel RHINOCEROS.....	102
Figure VI-04 : Grasshopper	102
Figure VI-05 : plugin ladybug et Honeybee.	102
Figure VI-06 : plugin ladybug	103
Figure VI-07 : plugin Honeybee.	103
Figure VI-09 : l'espace simulé.....	104
Figure VI-10 : valeur UDI, SDA, ASE.....	106
Figure 01 : plan de rez-de-chaussée - niveau +0.50m.....	112
Figure 02 : plan de 2eme étage - niveau +4.59m.....	113
Figure 03 : vue perspective sur le projet.....	113
Figure 04 : vue perspective sur le projet.....	114
Figure 05 : vue perspective sur le projet.....	114
Figure 06 : vue sur le parking.	115
Figure 07 : vue sur le parcours couvert.	115

Figure 08 : vue sur l'aménagement extérieur.	116
Figure 09 : vue sur les murs végétalisés.	116
Figure 10 : vue sur l'espace d'étude extérieur.	117
Figure 11 : vue sur la cascade.	117
Figure 12 : vue sur l'aménagement en damier.....	118
Figure 13 : vue sur la zone d'essai.....	118
Figure 14 : vue sur la zone de rencontre.	119
Figure 15 : vue intérieure sur l'entité de recherche	119
Figure 16 : vue intérieure sur le sas.....	119
Figure 17 : vue sur l'atrium.....	120
Figure 18 : vue intérieure sur l'exposition.....	120
Figure 19 : vue sur la mezzanine.....	120
Figure 20 : Des vues sur le laboratoire.....	121
Figure 21 : Vue sur les salles de classe	122

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau I-01 : les valeurs de l'indice d'aridité.....	07
Tableau I-03 : L'aspect de durabilité.....	30
Tableau II-01 : typologie des équipements avoisinants.....	45
Tableau III-01 : Tableau quantitatif de l'entité de recherche.....	50
Tableau III-02 : tableau quantitatif de l'entité pédagogique.	51
Tableau III-03 : tableau quantitatif de l'entité administrative.....	51
Tableau III-04 : tableau quantitatif de l'accueil.	52
Tableau III-05 : tableau quantitatif de l'annexe technique.....	52
Tableau III-06 : Tableau qualitatif de l'entité de recherche.	53
Tableau III-07 : Tableau qualitatif de l'entité pédagogique.....	58
Tableau III-08 : Tableau qualitatif de l'entité administrative.....	61
Tableau VI-01 : La sensation thermique exprimée selon l'échelle de l'ASHRAE.....	100
Tableau VI-02 : Les caractéristiques de l'espace simulé.....	104
Tableau VI-03 : les matériaux utilisés.	104
Tableau VI-04 : Résultats du cas de base de la performance énergétique avec des matériaux génériques.	105
Tableau VI-05 : Résultats du cas de base du confort thermique avec des matériaux Génériques.	105
Tableau VI-06 : les matériaux performants.	106
Tableau VI-07 : Les résultats du cas optimisé avec les matériaux performants.....	107
Tableau VI-08 : les paramètres de la corrélation optimale.	107

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction :

Face aux défis environnementaux actuels, la construction durable est devenue une nécessité pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. Le secteur du bâtiment étant l'un des plus consommateurs d'énergie, représentant 40% et émetteur de CO₂, représentant environ 36% des émissions, il est crucial d'adopter des approches visant à minimiser son impact environnemental.

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de recherche fondamental pour la robotique des véhicules électriques. Elle est au cœur de nombreuses innovations technologiques représentant un axe de recherche important, d'autant plus que le secteur des transports occupe une part très importante de la consommation d'énergie en Algérie. Ainsi, les véhicules électriques constituent un domaine de recherche majeur.

Actuellement, l'Algérie connaît un grand progrès en matière d'installation de marques étrangères dans le secteur de l'industrie automobile. Cette situation présente une opportunité pour l'Algérie de localiser l'industrie et de transférer des connaissances dans ce domaine.

Sur le plan régional, Laghouat avec sa situation stratégique possède des potentialités pour accueillir plusieurs infrastructures et plateformes de recherches scientifique et technologique au niveau des pôles universitaires. Un centre de recherche dans le domaine automobile électrique à Laghouat participe à domicilier cette technologie.

La conception de cette infrastructure dans un contexte climatique particulier (chaud et aride) nécessite l'adoption de stratégies appropriées dans un cadre de durabilité afin d'assurer des conditions de confort intérieures agréables et une performance énergétique optimale.

Dans ce contexte passionnant que s'inscrit le projet de fin d'études, qui porte sur la conception d'un centre de recherche en intelligence artificielle pour la robotique des véhicules électriques suivant une démarche durable telle que LEED dans la ville de Laghouat,

Problématique :

La conception d'un centre de recherche dédié à l'intelligence artificielle appliquée à la robotique pour les véhicules électriques représente un défi majeur pour lequel il devra être en mesure de relever les défis liés au climat aride de Laghouat, tout en répondant aux impératifs spatiaux, fonctionnelles, environnementale et technologique.

Cette situation nous mène à formuler les préoccupations suivantes :

- Quels sont les stratégies à adopter dans le processus conceptuel dans l'objectif de créer un environnement intérieur favorable pour l'exécution des tâches et le bien être tout en garantissant une complémentarité spatiale et fonctionnelle avec son environnement immédiat ?

Hypothèse :

L'application des principes LEED sous les conditions climatiques spécifiques de la ville de Laghouat nécessite des stratégies appropriées, ce qui nous conduit à soulever les hypothèses suivantes :

- La conception selon les stratégies de durabilité recommandées par des critères LEED pourrait garantir une performance énergétique, des conditions de confort optimales et favorisant le bien-être des occupants.
- Les stratégies passives appropriées au climat aride et semi-aride tels que l'orientation nord/sud, l'utilisation des espaces protégés (passage couvert et patios/atriums) et les dispositifs d'occultation pourraient assurer potentiellement un bâtiment durable dans son aspect énergétique et de confort

Objectifs :

Les objectifs de cette recherche sont de :

- Concevoir un centre de recherche en intelligence artificielle pour la robotique des véhicules électriques qui soit durable et écoénergétique.
- L'application des stratégies de conception durable pour assurer un niveau de confort adéquat et Réduire la consommation énergétique.
- L'évaluation de l'impact des matériaux performants sur la performance énergétique et le confort thermique dans le laboratoire des prototypes du centre de recherche.

La structure de mémoire :

Introduction générale : cette introduction vise à fournir un aperçu d'ensemble du sujet avant d'approfondir les détails.

Chapitre thématique : Ce chapitre propose 02 volets :

Volet 01 liés à l'environnement : nous aborderons les diverses notions et principes associés à l'architecture durable puis les notions et principes liées au thème, centre de recherche en IA appliquée à la robotique automobile électrique ; dans ce dernier on va présenter une recherche axée sur les centres de recherche en IA pour la robotique des véhicules électriques.

Volet 02 analytique : Dans ce volet nous présenterons trois exemples afin d'analyser et de mentionner les critères de choix spécifiques à chacun.

Chapitre contextuel : Dans ce chapitre, nous aborderons l'étude contextuelle, prenant en considération dès la conception, les particularités climatiques de la ville de Laghouat.

Chapitre programmatique : Dans ce chapitre nous établirons le programme requis pour un centre de recherche en IA appliquée à la robotique automobile électrique, en nous appuyant sur l'interprétation de leurs besoins qualitatifs et quantitatifs.

Chapitre architecturale : dans ce chapitre nous examinerons les divers principes et phase de conception de notre projet, en tenant compte de ses aspects formels, fonctionnels et durables.

Chapitre technique : dans ce chapitre nous présenterons les divers systèmes structuraux employés dans notre projet, les méthodes de construction et les matériaux choisis pour sa réalisation les techniques durables basées sur la certification LEED ainsi que les systèmes actifs et passifs qui contribuent à réduire la consommation énergétique et a garantir le confort des utilisateurs

Chapitre de simulation : nous chercherons à simuler l'impact des matériaux sur le confort thermique et la performance énergétique à l'aide de logiciels de simulation.

CHAPITRE I : ÉTUDE THEMATIQUE

Introduction :

Ce chapitre introduit deux volets principaux. Le premier est lié à l'environnement, au développement durable et à la certification LEED. Nous explorons les principes et les stratégies spécifiquement pour le climat chaud et semi-aride, puis les notions et principes liés au thème d'un centre de recherche en intelligence artificielle appliquée à la robotique automobile électrique. Le deuxième volet présentera des exemples analysés similaires au thème de recherche.

Le premier volet :

I.1. Définition des concepts liés à l'environnement :

I.1.1 L'environnement :

L'environnement peut être défini comme « l'ensemble, à un moment donné, des aspects physiques, chimiques, biologiques et des facteurs sociaux et économiques susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou à terme, sur les êtres vivants et les activités Humaines »¹.

D'une façon plus générale, l'environnement est constitué de « l'ensemble des éléments qui, dans la complexité de leurs relations, constitue le cadre, le milieu, les conditions de vie pour l'homme »².

Les conditions environnementales en architecture font référence à l'environnement naturel et bâti qui entoure et affecte un bâtiment. Il comprend des facteurs tels que le climat, la topographie, la végétation, l'eau et la qualité de l'air. ³

I.1.2. Architecture durable :

La philosophie de l'architecture durable se concrétise à travers différentes pratiques qui ont pour objectifs de réduire l'impact négatif d'un bâtiment sur son environnement et de prendre soin la qualité de vie des utilisateurs et des communautés riveraines.

La mise en œuvre d'une architecture durable se manifeste par un ensemble de choix de techniques, des méthodes de gestion, la sélection des matériaux employés et l'organisation interne des fonctions et des espaces, afin de maîtriser, en particulier, la consommation d'énergie et l'aménagement du cadre de vie des utilisateurs ⁴

I.1.2.1 Les principes clés de l'architecture durable⁵ :

Les principes clés de l'architecture durable sont :

- L'orientation du bâtiment
- La forme et la taille du bâtiment
- La gestion des ressources et des déchets
- Isolation thermique
- Le choix des matériaux pour des constructions durables
- La végétation

I.1.3. Les zones arides et semi arides :

¹ Circulaire n° 77-300 du 29 août 1977

² Pierre George, géographe (BO n° 28 du 15 juillet 2004).

³ Energy-efficient architecture Bojana Vasić, Jelena Vasić Faculty of Security Studies Educons University Serbia

⁴ L'architecture durable en pratique (méthodes et technologies) www.architecte-batiments.fr visité le 24/10/2023 à 11:30

⁵ <https://batiadvisor.fr/architecture-durable/>

Une zone aride est une région qui reçoit très peu de précipitations. Selon la classification climatique de Köppen, une zone est considérée comme aride quand elle reçoit moins de 250 mm de précipitations par an. L'aridité d'une région est quantifiée par l'indice d'aridité, qui est le ratio entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration potentielle (ETP).⁶

L'ETP représente la quantité d'eau qui pourrait s'évaporer et transpirer si elle était disponible

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 précipitations⁷

I.1.3.1. L'indice d'aridité⁸ :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes annuelle et de la température annuelle. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

I.1.3.2. Le climat désertique chaud :

Le climat désertique chaud caractérisé par :

- Des températures très élevées avec des moyennes annuelles dépassant 28°C et des maximales atteignant 45°C en été dans certaines régions.
- Une pluviométrie extrêmement faible, souvent inférieure à 100 mm par an, de nature orageuse et très irrégulière.
- Une hygrométrie basse, descendants en dessous de 20%, accentuant la sécheresse de l'air.
- Un ensoleillement très important dépassant les 3500 heures par an et un ciel le plus souvent dégagé

I.1.4. Stratèges passives bioclimatique :

I.1.4.1. Stratègie du chaud (confort d'hiver)⁹ :

Tableau I-01 : les valeurs de l'indice d'aridité
Source : (Zine Brahim, 2015)

Indice d'aridité	type de climat
I < 5	Climat hyper-aride
5 % < I < 7.5	Climat désertique
7.5 % < I < 10	Climat steppique
10 % < I < 20	Climat semi-aride
20 % < I < 30	Climat tempéré

⁶ Köppen, W. (1918). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf. Petermanns Mitteilungen, 64, 193-203

⁷Organisation météorologique mondiale

⁸ Zine Brahim « La remonté des eaux souterraines en surface : mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas de Oued Souf) » thèse de magister en hydraulique sous la direction Pr Boudoukha Abderrahmane université El Hadj Lakhdar Batna/ P 24

⁹ Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques

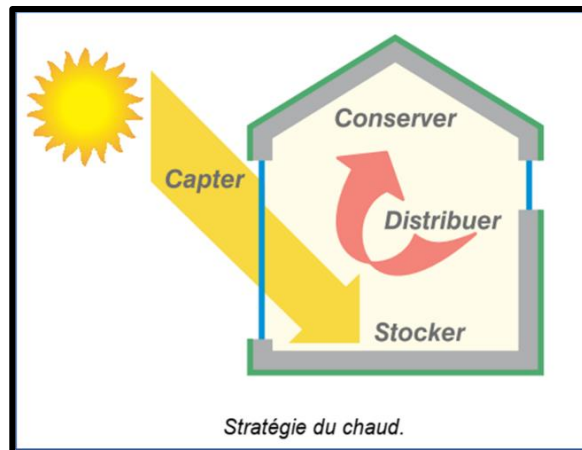


Figure I-01 : Stratégie du chaud

Source : DEVELOPPER UNE STRATEGIE DU FROID, Bruxelles environnement

- **Capter :**

Le captage solaire passif consiste à laisser pénétrer le rayonnement solaire par les fenêtres et baies vitrées pour qu'il réchauffe directement l'intérieur du bâtiment. La serre bioclimatique, parmi les dispositifs passifs du Chauffage :

Mur Trombe :

Le mur Trombe, ou mur Trombe-Michel, est un mur capteur de calories gratuites apportées par le rayonnement solaire. Il est composé d'un mur massif peint en noir côté extérieur, d'une lame d'air et d'un vitrage. Le soleil réchauffe le mur qui transmet la chaleur à l'intérieur par conduction et convection.

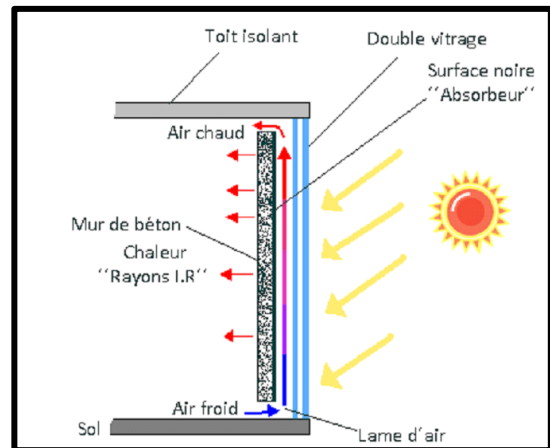


Figure I-02 : Mur Trombe.

Source : <https://www.researchgate.net>

La serre bioclimatique :

Un autre système de chauffage solaire passif est constitué d'un espace clos en verre, d'une serre et d'une masse accumulatrice thermique (mur et sol). Lors des journées froides ou la nuit la serre exerce la fonction de zone tampon, diminuant ainsi les pertes énergétiques.

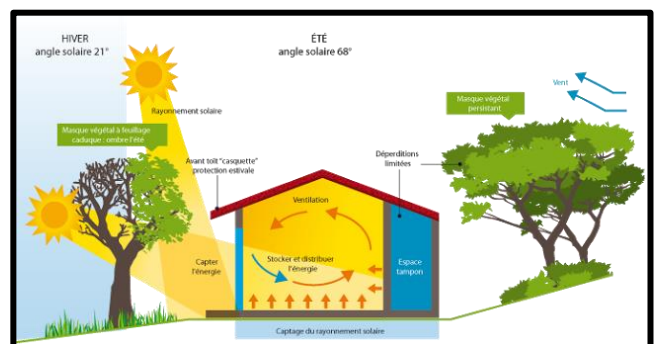


Figure I-03 : serre bioclimatique

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

- **Stocker :** Stocker cette chaleur dans le bâtiment.

Stockage de l'énergie solaire captée par les surfaces vitrées ou les matériaux à forte inertie thermique pour la restituer plus tard, généralement la nuit ou lors de séquences nuageuses

- Conserver :

En climat froid ou frais, on s'efforcera de conserver toute chaleur, qu'elle découle de l'ensoleillement, d'apports internes ou du système de chauffage. C'est essentiellement la forme et l'étanchéité de l'enveloppe ainsi que les vertus isolantes de ses parois qui limiteront les déperditions thermiques du bâtiment.

- Distribuer :

Distribuer la chaleur dans le bâtiment tout en la régulant consiste à la conduire dans les différents lieux de vie où elle est souhaitable. Cette distribution peut s'effectuer naturellement lorsque la chaleur accumulée dans un matériau durant la période d'ensoleillement est restituée à l'air ambiant par rayonnement et convection. Un autre mode de distribution de la chaleur est celui de la thermo circulation de l'air (migration naturelle des masses d'air chaud vers le haut).

I.1.4.2. Stratégie du Froid (confort d'été)¹⁰:

Les concepts intervenant dans une stratégie du froid :

La limitation de la demande de froid par la limitation des gains solaires et des charges internes.

Le rafraîchissement naturel des locaux par une ventilation intensive et une inertie thermique importante.

L'utilisation raisonnée de l'éventuelle climatisation, par une bonne conception et régulation.

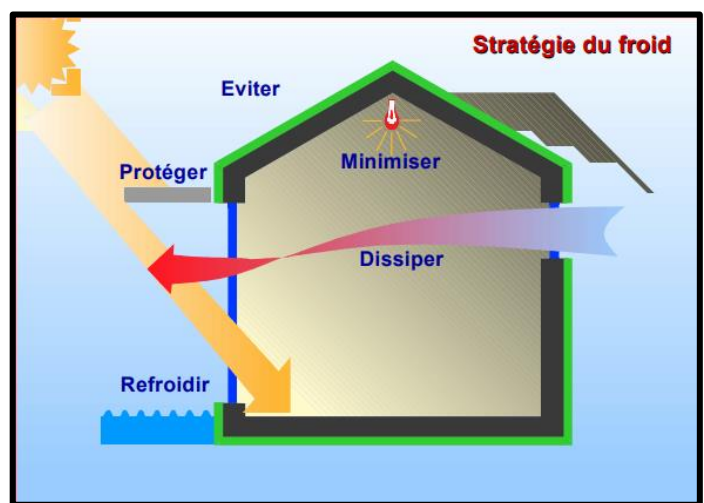


Figure I-04 : Stratégie du Froid.
Source : traité d'architecture et d'urbanisme,32b

- Protéger :

Protéger le bâtiment de l'ensoleillement direct indésirables. Cela passe par :

Les dispositifs de protections solaires ; brise-soleil horizontale au Sud, brise-soleil verticale à l'Est et à l'Ouest débords de toit, végétation, Stores verticaux

La réduction des apports de chaleur par les vitrages (vitrage peu émissif, stores)

- Minimiser :

Minimiser les apports internes vise à éviter une surchauffe des locaux due aux occupants et aux équipements : l'éclairage artificiel, l'équipement électrique, la densité d'occupation des locaux, etc. Certains apports peuvent être facilement minimisés en favorisant, par exemple, l'éclairage nature

¹⁰ Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques

- Eviter :

L'objectif principal est de prévenir le transfert de la chaleur extérieure vers l'intérieur du bâtiment à travers les matériaux de construction. Il convient de limiter au maximum les gains de chaleur indésirables Par l'isolation du bâtiment (toitures, des murs)

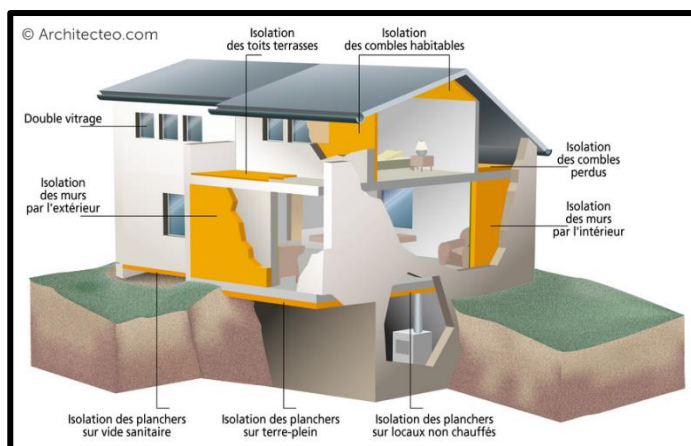


Figure I-05 : Schéma d'une isolation de maison individuelle
Source : <https://architecteo.com/isolation-maison.html>

- Dissiper :

La dissipation des surchauffes peut être réalisée grâce à la ventilation naturelle, en exploitant les gradients de température par le biais d'exutoires produisant un "effet de cheminée". La pression du vent et la canalisation des flux d'air peuvent également être mises à profit pour évacuer l'air surchauffé du bâtiment.

Ventilation par atrium :

L'atrium permet de remplir de nombreuses fonctions, en amenant de la lumière naturelle notamment. Il joue également un rôle dans la ventilation naturelle, car il agit comme une cheminée solaire géante. De plus, l'intérêt de l'atrium est que le volume de bâtiment que l'on peut ventiler naturellement est doublé par rapport au cas précédent de la cheminée placée sur un côté, puisque l'entrée d'air se fait des deux côtés du bâtiment, tandis que l'extraction se fait au milieu.

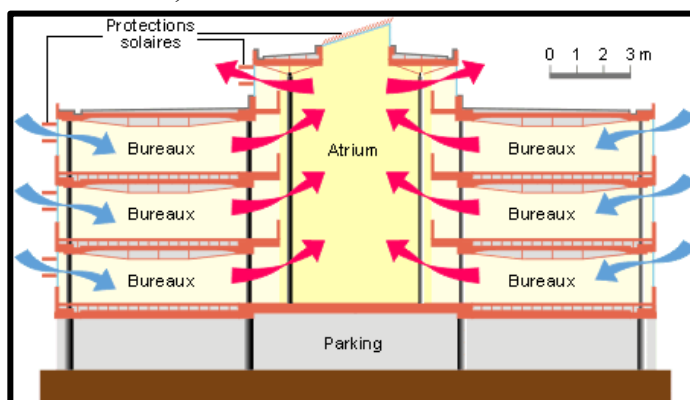


Figure I-06 : Ventilation par atrium
Source : <https://energieplus-lesite.be/>

La cheminée de ventilation ;

Le fonctionnement de la cheminée de ventilation naturelle assisté par un système solaire est le suivant :

1. L'air frais entrant dans les salles de classe à travers des murs est préchauffé derrière les radiateurs. L'air des salles de classe est extrait vers les axes principaux d'extraction.
2. L'air monte dans les axes d'extraction grâce à l'effet de cheminée
3. L'air entre dans la cheminée solaire
4. L'air est chauffé dans des collecteurs solaires d'air qui augmentent l'effet de cheminée
5. L'air est évacué par le haut des cheminées solaires.

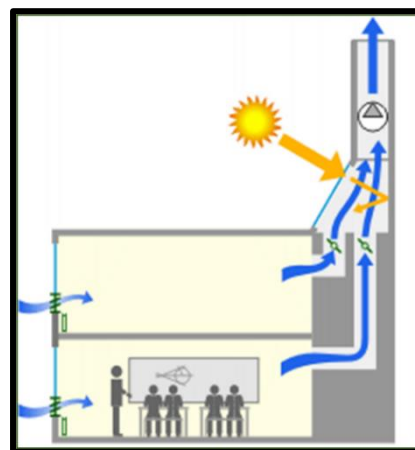


Figure I-07 : principe de cheminée de ventilation
Source : <https://www.researchgate.net/>

- **Rafrâichir :**

Le refroidissement des locaux peut facilement être assuré par des moyens naturels. Une première solution consiste à favoriser la ventilation (surtout nocturne, afin de déstocker la chaleur emmagasinée la journée) ou à augmenter la vitesse de l'air (effet Venturi, tour à vent, etc.). Un autre moyen consiste à refroidir l'air par des dispositifs naturels tels que des plans d'eau, des fontaines, de la végétation.¹¹



Figure I-08 : Mur végétal

Source : <https://thearchitectsdiary.com/>

I.1.5. Notion de confort :

On distingue principalement plusieurs types de confort, notamment :

- Le confort physiologique se réfère à l'ensemble des conditions qui permettent à un individu de vivre dans un environnement sans effort, et qui peuvent être classées en différentes catégories
- Le confort psychosociologique, quant à lui, est lié à l'aspect émotionnel et subjectif du confort, et peut être influencé par des facteurs tels que la qualité de l'air, l'espace disponible, la décoration et l'ambiance générale de l'environnement

I.1.5.1. Le confort hygrothermique :

Le confort hygrothermique est un terme utilisé pour décrire les conditions idéales de température et d'humidité dans un bâtiment ou un espace pour assurer le confort de ses occupants. Il s'agit d'une mesure de la température et de l'humidité de l'air ambiant dans une pièce ou un bâtiment. Les conditions idéales du confort hygrothermique sont une température constante tout au long de l'année (entre 18 et 20 °C), un taux d'humidité de 40 à 60 % et une différence de température maximale de 3 °C entre l'air intérieur et les murs.¹²

I.1.5.2. 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.¹³

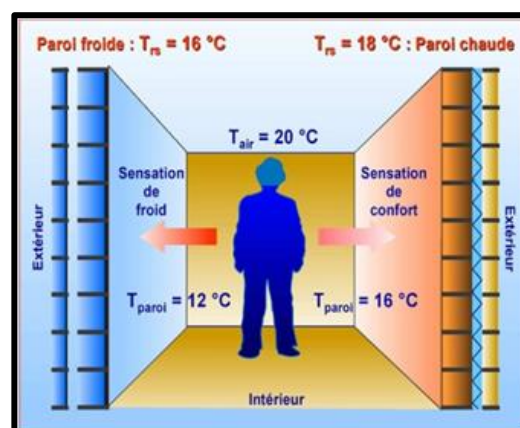


Figure I-09 : Confort thermique

Source : <https://www.oxalis-asso.org/la-notion-de-confort-thermique/>

¹¹ Mémoire de Master ZIADA Mohamed Amine, 2021

¹² <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>

¹³ <https://www.oxalis-asso.org/la-notion-de-confort-thermique/>

I.1.5.3. Confort visuelle :

La condition dans laquelle les yeux ne ressentent aucune fatigue ou inconfort lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Il est influencé par un certain nombre de facteurs, notamment l'éclairage, la répartition de la lumière, la qualité de la lumière, l'éblouissement et les contrastes.

I.1.5.3.1. Les paramètres de confort visuel¹⁴ :

- Un bon niveau d'éclairage 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

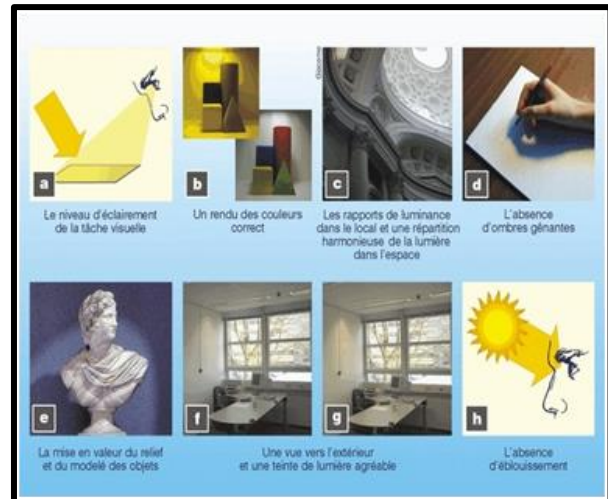


Figure I-10 : paramètres de confort visuel

Source : https://sites.uclouvain.be/eclairage-naturel/guide_confort.htm

I.1.5.4. Confort respiratoire :¹⁵

Le confort respiratoire dépend de la qualité de l'air intérieur, il est lié à différents facteurs voilà Certains aspects clés du confort respiratoire comprennent :

- Des pollutions qui viennent de l'intérieur :
 - Composés organiques volatiles (COV) émis par les bâtiments (peintures, colles, textiles...) et les activités (produits de nettoyage, bricolages, marqueurs...).
 - Particules fines, en particulier celles liées à l'utilisation de la craie sur le tableau.
 - CO₂, émis par la respiration des occupants. Le CO₂ n'est pas un polluant, mais pose problème en forte concentration. La respiration des enfants n'entraîne pas une production de CO₂ plus faible que celle des adultes.
 - Odeurs émises par les occupants et par les activités.
 - Humidité liée à l'occupation (émission par les occupants, activités, cuisines, ...) et à des problèmes de conception (condensation), qui peut être source de développement de moisissures de prolifération de bactéries.
- Des pollutions qui viennent de l'extérieur :
 - Pollutions industrielles, gaz d'échappement...
 - Humidité liée à la pénétration d'eau dans le bâtiment (infiltrations, humidité ascensionnelle...) qui peut être source de développement de moisissures de prolifération de bactéries.
 - Émission de radon, dans certaines régions, dépendant de la nature du sol.

¹⁴ la norme ISO 8995-1:2002, intitulée "Ergonomics of the visual environment - Lighting of workplaces"

¹⁵ <https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-bien-etre/confort-respiratoire>

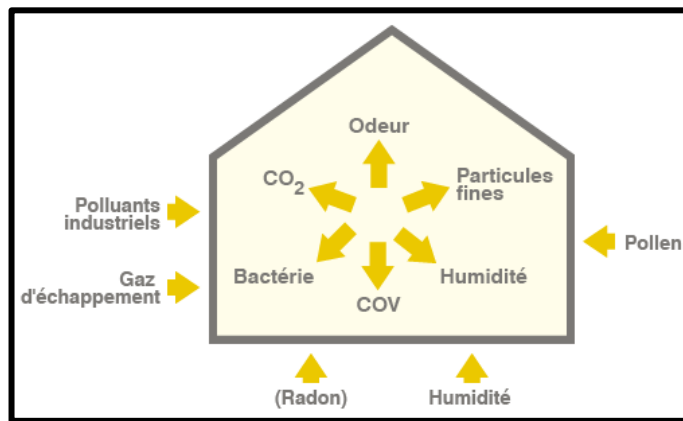


Figure I-11 : La qualité de l'air intérieur
 Source : <https://www.renovermonecole.be/fr/>.

I.1.6. Consommation énergétique :

La consommation énergétique des bâtiments fait référence à la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir le confort et le fonctionnement d'un bâtiment. Elle est mesurée en (kWh/m²/an) et est exprimée sous forme d'une quantité de kWh par m² par an.^{16,17}

I.1.6.1. La performance énergétique

La performance énergétique est un aspect essentiel de la conception de bâtiments durables, car les bâtiments représentent une part importante de la consommation mondiale d'énergie et des émissions de dioxyde de carbone

Atteindre la performance énergétique en architecture nécessite une combinaison de stratégies de conception passive, de technologies économes en énergie et de sources d'énergie renouvelables. kWh/m².an

I.1.6.2. Efficacité énergétique :

Une meilleure utilisation de l'énergie disponible. On obtient un rendement énergétique plus élevé, tout en utilisant une faible quantité de la ressource pour recevoir le même service. Ceci permet de réduire l'empreinte écologique, qui se traduit notamment par la réduction des émissions de gaz à effet de serre GES.¹⁸

I.1.6.3. Classification des bâtiments performants :

On distingue trois types des bâtiments performants :

I.1.6.3.1. Bâtiment à basse consommation :

- Un bâtiment dont la consommation énergétique est fortement réduite par rapport aux bâtiments standards
- Les niveaux de consommation maximale pour être considéré BBC sont définis par la réglementation thermique en vigueur.¹⁹



Figure I-12 : Le siège du groupe Transdev à Issy-Les-Moulineaux
 Source : <https://www.scau.com/fr/project/siege-transdev>

¹⁶ https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_028_05.pdf

¹⁷ <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/efficacite-energetique-et-batiments>

¹⁸ Sofiane Rahmouni « évaluation et amélioration énergétiques de bâtiments dans le cadre du programme national d'efficacité énergétique » Thèse de doctorat en en Hygiène et Sécurité Industrielle/ Université Mostapha Ben Boulaid Batna 2020/ P 8

¹⁹ <https://www.defiscalisation.immo/conseils/normes-respecter-immobilier-neuf/norme-bbc/>

I.1.6.3.2. Bâtiment à zéro énergie :

Un bâtiment neutre en énergie. L'édifice produit et consomme le même volume d'énergie sur toute une année. Concrètement, la somme de toutes les consommations et productions revient à zéro.



Figure I-13 : Le siège du groupe Legendre à Gif-sur-Yvette
Source : Google maps .

I.1.6.3.3. Bâtiment à énergie positive (BEPOS) :

Un bâtiment à énergie positive (BEPOS) est un bâtiment dont le bilan énergétique global est positif, c'est-à-dire que la quantité d'énergie renouvelable produite est supérieure à la quantité d'énergie consommée par le bâtiment sur une année ²⁰



Figure I-14 : La Cité des arts et de la culture à Chambéry
Source : <https://www.echologos.fr/portfolio/cite-des-arts>

I.1.7. Les labels :

Les labels de construction durable sont des outils qui permettent d'évaluer et de certifier les performances énergétiques et environnementales des bâtiments. Ils encouragent les propriétaires et les constructeurs à adopter des pratiques durables pour réduire l'impact environnemental et améliorer la qualité de vie des occupants.

Il existe une variété de labels et de certifications, notamment :

- HQE (Haute Qualité Environnementale)
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)
- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)
- GREEN MARK
- DGNB (German Sustainable Building Council)

Pour ce projet, nous avons choisi de concevoir selon les critères du label LEED. Nous développerons plus en détail les principes de cette certification dans les points suivants, afin de mieux comprendre les exigences à respecter.



Figure I-15 : carte mondiale montrant les célèbres Label.
Source: A Unified Sustainability Assessment Metrics for the Countries of the Gulf Cooperation Council - A Critical Study.

²⁰ El Azyzy, Y. (2019). Conception d'un système d'aide à la conduite pour véhicule de tourisme anticollision. ResearchGate.

I.1.7.1. Présentation de LEED ²¹ :

La certification LEED pour Leadership in Energy and Environmental Design a été créée aux Etats-Unis en 1998 par le US Green Building Council.

Le label LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) est un programme de standardisation des bâtiments respectant des critères de haute qualité environnementale. C'est l'équivalent du HQE français et du BREEAM.



Figure I-16 : Insigne de LEED
Source : <https://www.jardinsdebabylone.fr>.

I.1.7.2. Objectifs de LEED :

Cette certification environnementale vise à garantir un usage rationnel de l'énergie et à évaluer les bâtiments en fonction de leur impact sur la santé humaine et l'environnement. LEED est reconnu dans plus de 130 pays et repose sur des normes de construction qui prennent en compte l'ensemble du bâtiment, allant au-delà des seuls matériaux utilisés pour sa construction.²²

I.1.7.3. Critères de LEED :

Huit critères principaux sont évalués pour l'obtention de cette certification :

1. Aménagement écologique des sites (21 à 28 points) :
Cette catégorie évalue l'impact environnemental de la construction sur le site, en tenant compte de la réduction des déchets, de la réutilisation des matériaux et du recyclage des matériaux.
2. Gestion efficace de l'eau (10 à 11 points) :
La certification LEED encourage la réduction de la consommation d'eau potable et l'utilisation efficace de l'eau de source.
3. Énergie et atmosphère (15 à 24 points) :
Les bâtiments doivent minimiser leur consommation d'énergie et leur empreinte carbone, en utilisant des sources d'énergie renouvelable et en améliorant l'efficacité énergétique.
4. Matériaux et ressources (15 à 24 points) :
La certification LEED encourage l'utilisation de matériaux durables, locaux et recyclés, ainsi que la réduction des déchets de construction et de démonstration.
5. Qualité des espaces intérieurs (10 à 11 points) :
Les bâtiments doivent offrir une qualité



Figure-17 : Critères de LEED
Source : <https://oxforduniversal.com/>

²¹ <http://www.vedura.fr/guide/ecolabel/leed>

²² <https://www.espace-aubade.fr/blog/energie-renouvelables/certification-leed-pour-maison-utilisant-des-energies-renouvelables.html>

d'air intérieur confortable, une luminosité et une ergonomie optimal

I.1.7.4. L'évaluation LEED²³:

Chaque bâtiment est classé en fonction de son utilisation et opte pour l'un des quatre niveaux d'excellence attribués en fonction du nombre de points accumulés par le projet ou du niveau de conformité atteint.

- Le niveau de base, « **certifié LEED** », de 40 à 49 points.
- Le niveau **argent**, de 50 à 59 points.
- Le niveau **or**, de 60 à 79 points.
- Le niveau **Platinum**, à partir de 80 points.



Figure I-18 : Niveaux de certification LEED

Source : <https://www.wattsense.com>.

I.2. Définition des concepts liés aux thème :

I.2.1. La recherche en intelligence artificielle :

La recherche en intelligence artificielle (IA) regroupe les travaux visant à doter des machines des capacités cognitives habituellement associées à l'intelligence humaine. Elle recouvre un ensemble de théories et de techniques leur permettant d'accomplir des tâches complexes de manière autonome.²⁴

I.2.2. La robotique des véhicules électrique :

La robotique appliquée aux véhicules électriques est un domaine en perpétuelle évolution, où de nombreuses infrastructures de recherche, entreprises et chercheurs travaillent dans des projets novateurs visant à améliorer l'expérience des utilisateurs et à réduire l'empreinte environnementale.

²³ https://elzinc.es/wp-content/uploads/2020/07/elZinc-certificacion-LEED_France_web.pdf

²⁴ CNRS, "L'intelligence artificielle", 2017 Article L'intelligence artificielle devient collective" rédigé par Franck Cornerais, chercheur au LAAS-CNRS.

I.2.3. Les infrastructures de recherche liées à l'intelligence artificielle :

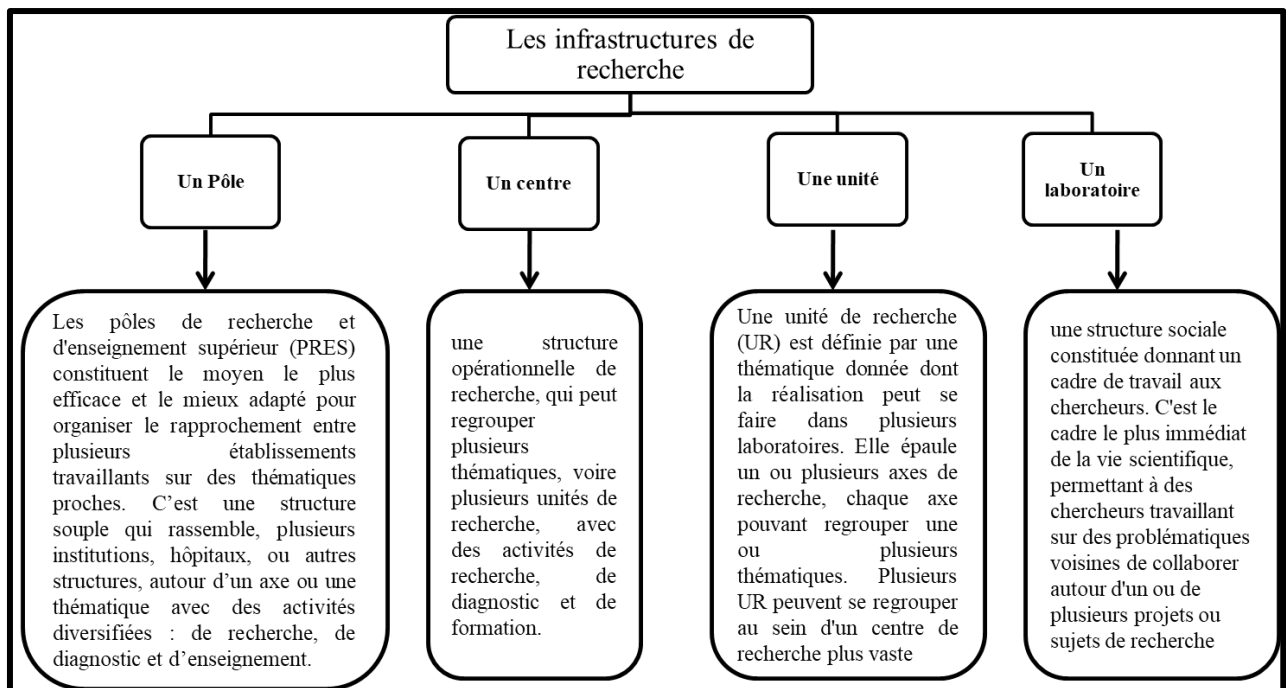


Figure I-19 : Les infrastructures de recherche.

Source : <https://www.usj.edu.lb/news.php?id=8061>, traite par l'auteur.

I.2.4. Centre de recherche en intelligence artificielle pour la robotique des véhicules électriques :

Un centre de recherche en IA automobile est une structure qui rassemble des chercheurs pour mener des projets de recherche et développement dans le domaine des technologies d'intelligence artificielle appliquées au secteur automobile ; il est spécialisé dans la modélisation et la simulation de véhicules électriques pour améliorer leurs performances et stabilité.

I.2.4.1. Ses axes de recherche

- L'application de techniques d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle pour améliorer la sécurité et la mobilité des véhicules électriques.
- Apprentissage automatique appliqué au diagnostic véhicule
- Vision par ordinateur pour la détection d'obstacles
- L'optimisation de la capacité des batteries et de l'efficacité des moteurs électriques pour augmenter l'autonomie des véhicules électriques.
- La mise en place de systèmes de sécurité pour les véhicules électriques, notamment pour réduire les risques d'accidents et améliorer la sécurité des conducteurs.

I.3.1.4. Accessibilité:

- Le projet est accessible par deux voies mécaniques.
- Le centre bénéficie d'un accès facile par la voie mécanique lord Bhattacharya et se trouve à proximité des infrastructures de recherche et d'innovation de l'Université de Warwick.

- Délimitation de terrain
- ▲ Accès Piétonne principale
- ▲ Un accès mécanique
- Voie mécanique principale
- Voie mécanique tertiaire
- Voies piétonne

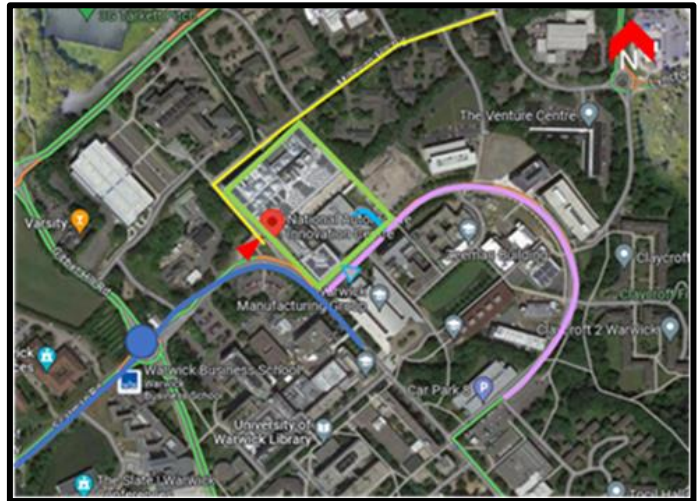


Figure I-22 : plan d'accessibilité
Source : Google earth\ traité par l'étudiant

I.3.1.5. Voisinages du projet :

Le projet est situé dans une zone industrielle

- À environ 5 km au sud-est du centre-ville de Coventry
- Sur le côté ouest du campus principal de l'Université de Warwick
- Près de la zone résidentielle de Westwood et du parc scientifique de Westwood Business Park
- À proximité de l'aéroport de Coventry et de la zone industrielle de Coventry



Figure I-23 : Plan de voisinage du projet.
Source : Google Earth , traité par l'étudiant .

I.3.1.6. Plan de masse :

I.3.1.6.1. Les accès :

Le centre a 4 accès

- Les 2 accès Piétonnes est placé sur la façade frontale et l'autre sur la façade postérieure qui a donné une fluidité et une séparation des flux
- Le parcours mécanique périphérique limité vers la zone de stationnement

- Délimitation de terrain
- ▲ Accès principale
- ▲ Accès secondaire
- ▲ Accès mécanique
- le parking à plusieurs étages
- Aire de stationnement
- Le Bâtiment
- Parcours mécanique principale
- Parcours mécanique
- Abri des vélos.
- Parcours de vélos



Figure I-24 : les accès du projet.
Source : Google earth\ traité par l'auteur.

I.3.1.6.2. Mode d'occupation de la parcelle :
L'espace bâti occupe la majorité de la parcelle
il est composé de deux parties séparées avec un
parcours mécanique et aire de stationnement
(l'espace non bâti)




	Délimitation de terrain	
	Le Cadre Bâti du projet	90%
	Le Cadre non Bâti du projet	10%



Figure I-25 : Occupation de la parcelle.
Source : Google Earth \ traité par l'auteur.

I.3.1.7. La volumétrie :

Volumétrie est composée de 2 parties : la 1ère est un parallélépipède plus cube articulé avec un parallélépipède de gabarit R+3

La 2ème un parallélépipède représente le parking R+2

Un bloc orienté sud-ouest, perpendiculaire sur le bloc orienté nord-ouest – sud est, configurée pour fournir un parking protégé. L'Accès principal est placé sur la façade sud-ouest



Figure I-26 : Vue aérienne du projet.
Source : Google Earth traité par l'auteur.

I.3.1.8. Analyse des façades :

- Les façades sont caractérisées par l'horizontalité et la linéarité.
- L'ensemble dégage une impression de légèreté, de transparence et de modernité
- L'entrée apparente est marquée par un auvent sculptural en porte-à-faux, identifiant clairement l'accès et introduisant une notion de dynamisme.
- Un mur de verre dans le hall d'entrée principal
- L'utilisation des pilotis au niveau du café crée une transition hiérarchique de l'espace public à l'espace semi-public.
- Couleur sombre gris dominant le projet.



Figure I-27 : la façade principale (sud-ouest)
Source : ArchDaily , traité par l'auteur

- Le rapport entre le vide et le plein est
- Un traitement de façades composé d'ouvertures horizontales et de différentes tailles
- La majorité des espaces vitrés sont des bureaux de recherche, ce qui montre que ces Bureaux ont besoin d'un éclairage naturel.
- Les panneaux ondulants sont censés représenter les vagues de la rivière Sowe, qui Coule à proximité du bâtiment.

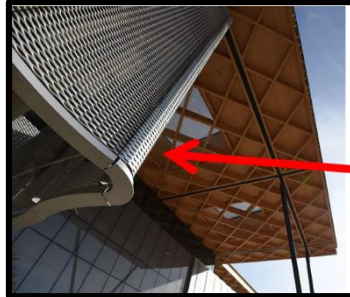


Figure I-28 : la façade latérale (Nord - est)
Source : ArchDaily , traité par l'auteur .

- La façade est divisée en trois parties horizontales :
- Le soubassement : un socle plus fermé et des planchers de bureaux en verre.
- Le Corps : un revêtement sinusoïdal en treillis métallique ondulé qui crée une impression de mouvement le long des très longues élévations du bâtiment.
- Le couronnement : une couronne technique en toiture en bois lamellé-collé

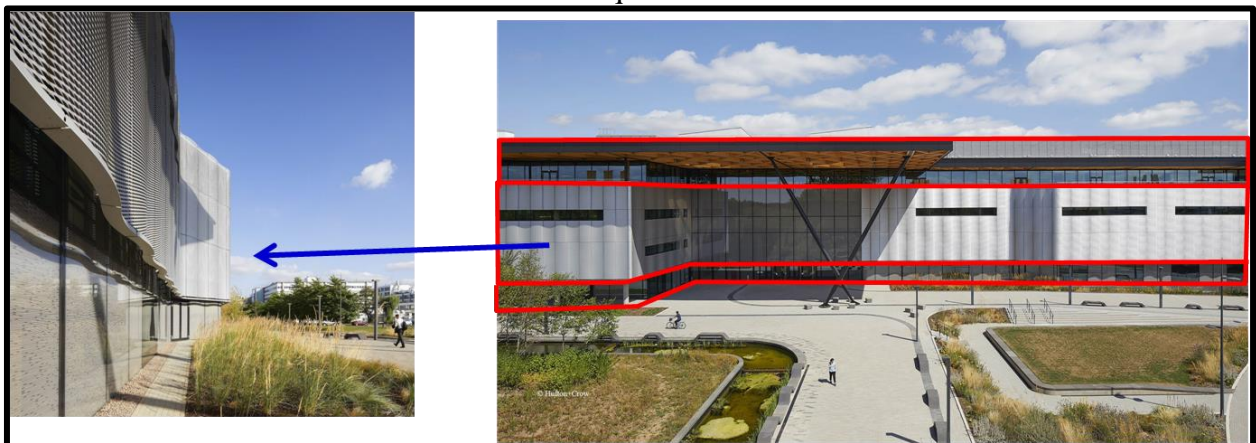


Figure I-29 : la façade principale (sud-ouest)
Source : <https://architecturetoday.co.uk>, traité par l'auteur.

- Une façade discrète et sobre donnant sur le parking.



Figure I-30 : La façade donnant sur le parking
Source : Google maps.

I.3.1.9. Analyse des plans :

- Les espaces sont distribués au niveau du projet sur 4 niveaux
- Le rez-de-chaussée du NAIC est un espace polyvalent qui accueille une variété d'activités : les espaces d'accueil, une cafétéria, des salles d'exposition et l'entité d'expérimentation
- Les trois étages supérieurs sont occupés par les bureaux de recherche et les laboratoires.

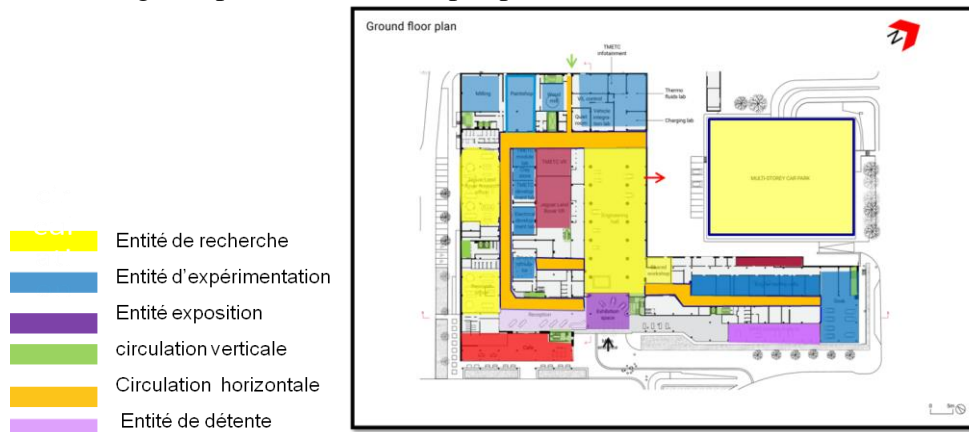


Figure I-31 : Plan de RDC

Source : ArchDaily, traité par l'auteur

- Le rez-de-chaussée du bâtiment est organisé de manière à faciliter la collaboration et l'innovation. Il comprend un grand hall d'entrée avec un comptoir d'accueil
- L'étage est divisé en 4 entités.
- La circulation verticale est assurée par des ascenseurs véhicule et des ascenseurs piétonne
- La circulation horizontale est assurée par des corridors assez larges pour permettre le passage et la manœuvre de véhicules et bien signalisées
- La distribution de ses espaces est faite selon des couloirs.

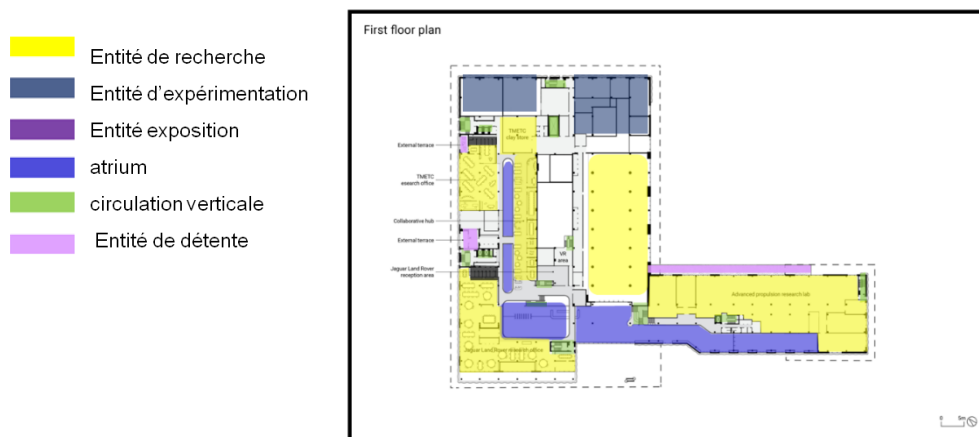


Figure I-32 : Plan du 1^{er} étage.

Source : ArchDaily, traité par l'auteur.

- Atrium central : Les espaces s'organise principalement autour d'un grand atrium central de 3 étages de hauteur il relie les différents étages du NAIC et qui permet d'apporter de la lumière naturelle dans les circulations
- L'utilisation de passerelles et mezzanines permet de créer des vues et connections entre les différents espaces.

- Les espaces de circulation suffisamment dimensionnés pour permettre le croisement et le passage confortable des usagers.

- Entité de recherche
- Entité d'expérimentation
- Entité exposition
- atrium
- circulation verticale
- Entité de détente

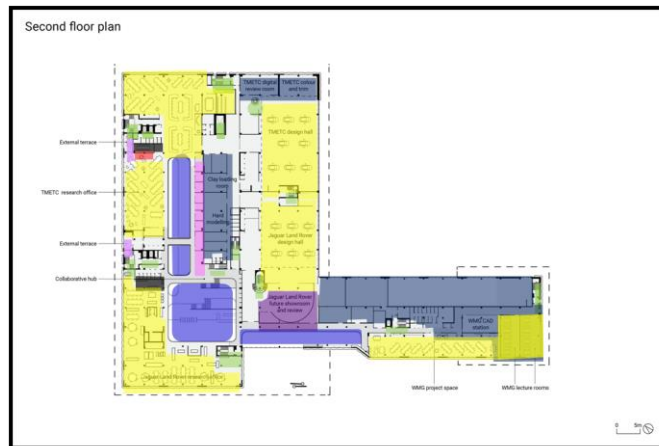


Figure I-33 : Plan du 2^{er} étage.

Source : ArchDaily, traité par l'auteur.

- Le niveau R+2, regroupe toutes les entités

- Entité de recherche
- Entité exposition
- atrium
- circulation verticale
- Entité de détente

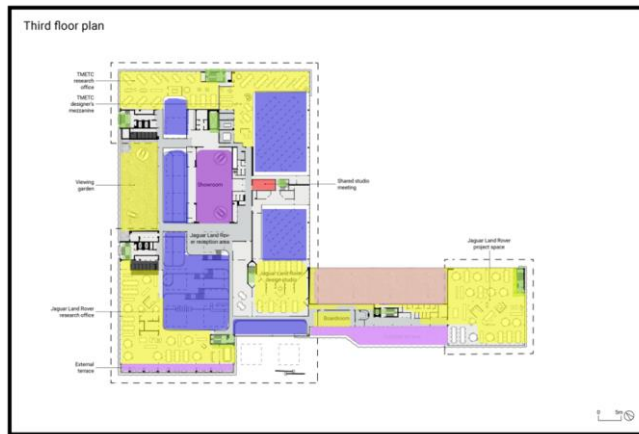


Figure I-34 : Plan du 3^{er} étage.

Source : ArchDaily, traité par l'auteur.

I.3.1.10. Les coupes :

- Le niveau R+3, regroupe principalement les espaces dédiés à l'entité de recherche
- On remarque l'absence de l'entité d'expérimentation

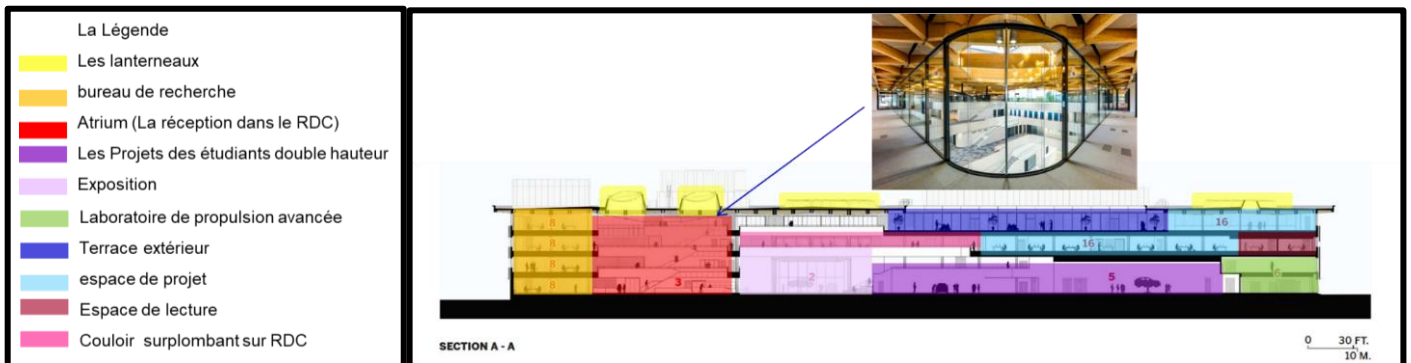


Figure I-35: section A-A

Source : ArchDaily, traité par l'auteur.

- Les atriiums, l'espace de projet et design studio bénéficier de l'éclairage zénithal par lanterneaux
- Les passerelles et mezzanines permet de créer des vues et connections entre les différents espaces.
- Les bureaux de recherche sont superposés
- La salle d'exposition est conçue en double hauteur.
- Type de structure poteau poutre

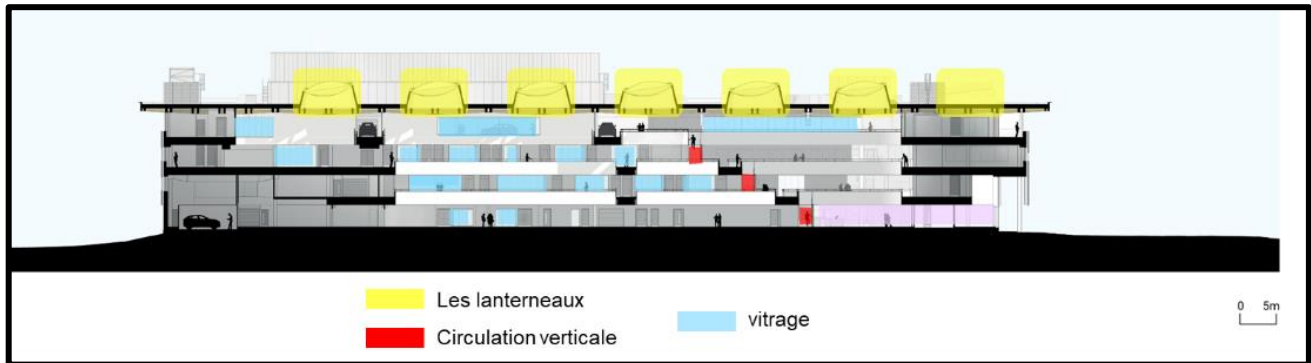


Figure I-36 : section B-B

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

- Les lanterneaux sont placés au dernier étage afin d'assurer l'éclairage naturel des atriiums et des bureaux de recherche situés à l'étage supérieur.
- La transparence dans la conception intérieure.
- Une Terrasse technique

I.3.2. Analyse d'exemple 02: Carroll A. Campbell Jr. Graduate Engineering Center at Clemson University united state

I.3.2.1. Critère de Choix :

- Similaire à la fonction de notre thème
- Le programme
- L'aspect de durabilité (la certification LEED-NC Silver)

I.3.2.2. Présentation du projet²⁶ :

- Ce center effectue des recherches en intelligence artificielle (IA). Les domaines de recherche incluent la Conception légère (utilisation de matériaux et de technologies innovantes pour concevoir des produits légers et efficaces), la Fabrication (développement de méthodes de fabrication innovantes et technologies de pointe pour améliorer la productivité et la qualité des produits) et l'électronique (applications de l'électronique dans les systèmes de véhicules, notamment les systèmes de contrôle, de communication et de sécurité)

I.3.2.2.1. Fiche technique :²⁷

- Type de bâtiment : Centre de recherche
- Domaine : l'ingénierie automobile
- Architectes : Mack Scogin Merrill Elam Architects
- Superficie : 85000 m²
- Année de construction : 2006
- Situation : Greenville, Caroline du Sud Etats-Unis
- Climat : Océanique



Figure I-37 : Entrée principale du projet.
Source : www.archdaily.com .

I.3.2.3. Situation du projet :

- Le bâtiment est situé sur le campus du Centre international de recherche automobile de l'Université de Clemson (CU-ICAR), qui est un espace de 250 acres axé sur la recherche en technologies de pointe. Le campus CU-ICAR est situé à Greenville, en Caroline du Sud.
- Situation astronomique :
- Latitude : 32.4° N • Longitude : -81.5° O
- Altitude : 93 mètres

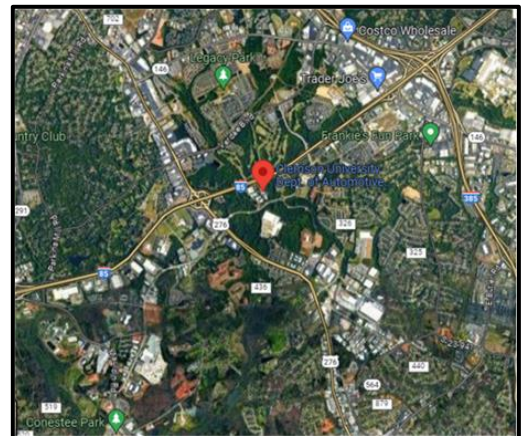


Figure I-38 : Plan de situation du projet.
Source : Google Earth .

²⁶ <https://www.archdaily.com/128600/carroll-a-campbell-jr-graduate-engineering-center-at-clemson-university-mack-scogin-merrill-elam-architects>

²⁷ <https://www.archdaily.com/128600/carroll-a-campbell-jr-graduate-engineering-center-at-clemson-university-mack-scogin-merrill-elam-architects>

I.3.2.4. Voisinages du projet :

- Le projet est situé dans une zone industrielle
Dans la périphérie de ville



Figure I- 39 : Plan de voisinage du projet
Source : Google Earth , traité par l'auteur .

I.3.2.5. Accessibilité :



- Le projet est accessible par une seule voie mécanique



Figure I-40 : plan d'accessibilité.
Source : Google earth, traité par l'auteur.

I.3.2.2. Mode d'occupation de la parcelle :

- L'espace bâti occupe la majorité de la parcelle
- Le projet est une masse compacte en forme de barre entouré par des espaces aménagés et des zones de stationnement.

 Délimitation de terrain
 Aïrer de stationnement

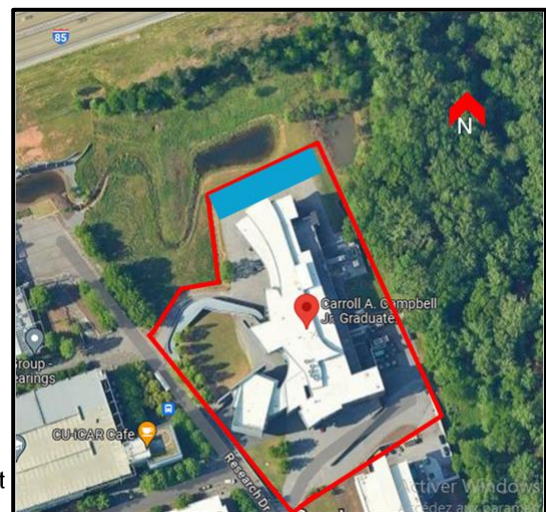


Figure I-41 : Occupation de la parcelle.
Source : Google Earth, traité par l'auteur.

I.3.2.6. La volumétrie :

Le projet est une masse compacte en forme de barre avec des volumes réguliers (des cubes) et des volumes irréguliers fragmentés, en porte à faux, aussi une rampe d'accès.

On peut aussi observer le manque d'angles droits.

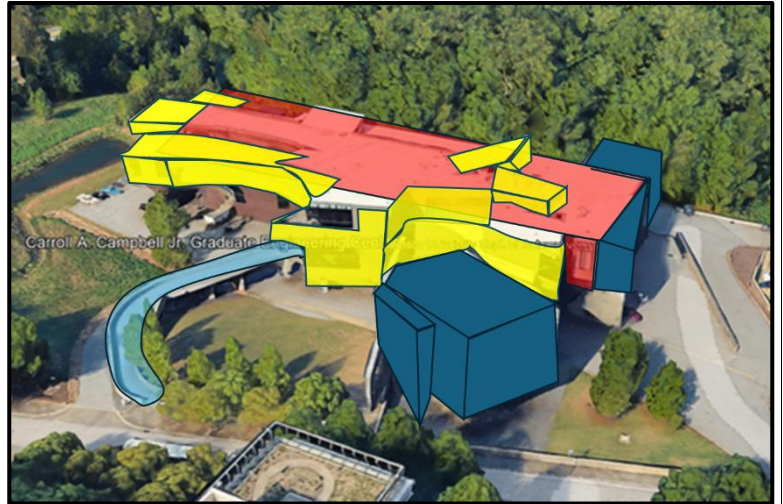


Figure I-42 : volumétrie du projet.
Source : Google Earth , traité par l'auteur.

I.3.2.7. Analyse des façades :

- La façade du bâtiment a une forme rectangulaire avec une combinaison de matériaux, notamment le verre, le métal et le béton.
- Les façades sont constituées d'une combinaison de matériaux, notamment du verre, du métal et du béton.
- Le bâtiment a une forme rectangulaire et la façade présente une série de lignes verticales et horizontales qui créent un motif en forme de grille.
- L'utilisation du verre permet à la lumière naturelle de pénétrer dans le bâtiment, et les éléments en métal et en béton confèrent à la façade une impression de solidité et de durabilité.
- La conception de la façade est fonctionnelle et contemporaine, reflétant l'accent mis par le bâtiment sur l'intégration de systèmes et l'ingénierie avancée.



Figure I-43 : façade principale.
Source : Google Earth .

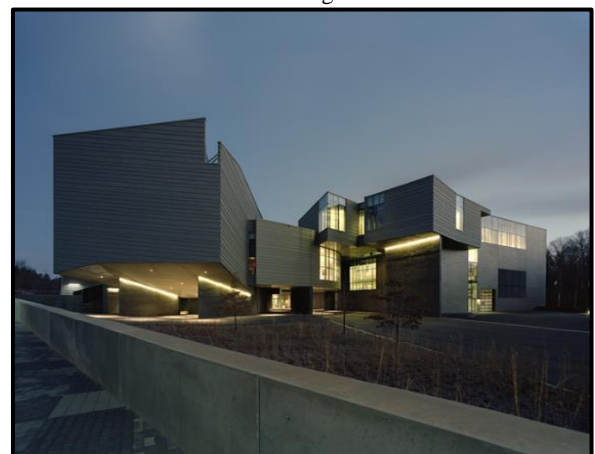


Figure I-44 : la façade sud.
Source : www.archdaily.com.

I.3.2.8. Lecture et analyse des plans :

- Les espaces sont distribués au niveau du projet sur 4 niveaux :
- Le rez-de-chaussée accueille les laboratoires
- Les 2eme l'auditorium et les laboratoires de double hauteur
- Le 3eme étages est occupés par l'entité pédagogique les bureaux de recherche, espace pour étudiants, et entité de recherche et des terraces extérieurs.

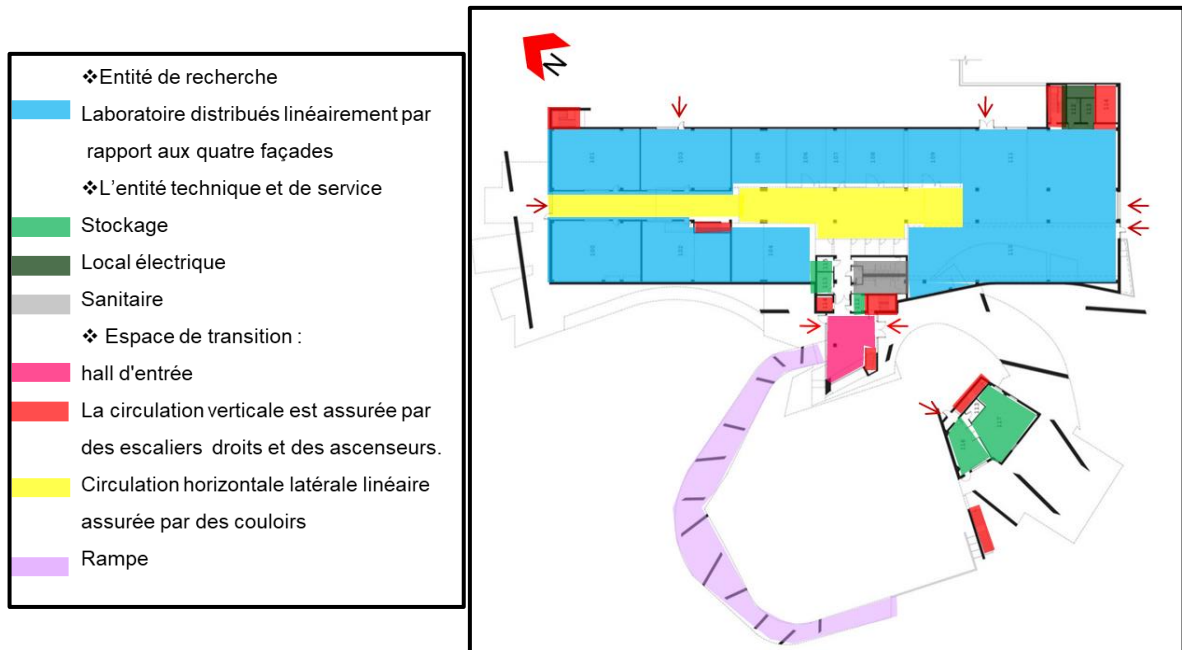


Figure I-45 : Plan de RDC.

Source : ArchDaily, traité par l'auteur.

- L'utilisation des mezzanines permet de créer des vues et connections entre les différents espaces (la continuité visuel)
- L'auditorium avec ses annexes sont isolés de la corp principale de recherche (Principes de séparation des entités).

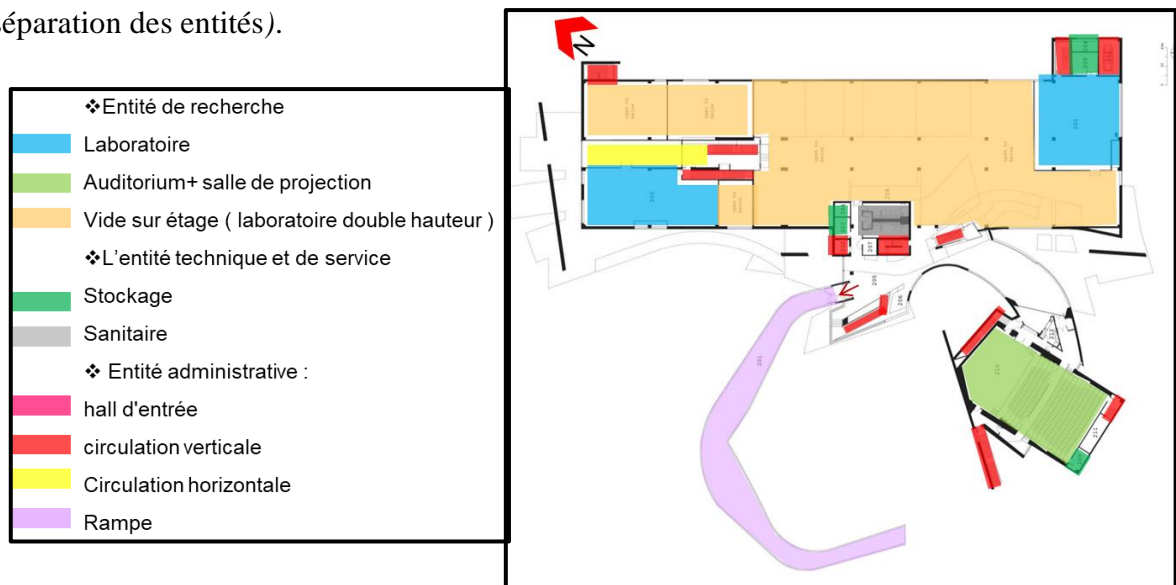


Figure I-46 : Plan du 1^{er} étage.

Source : ArchDaily, traité par l'auteur.

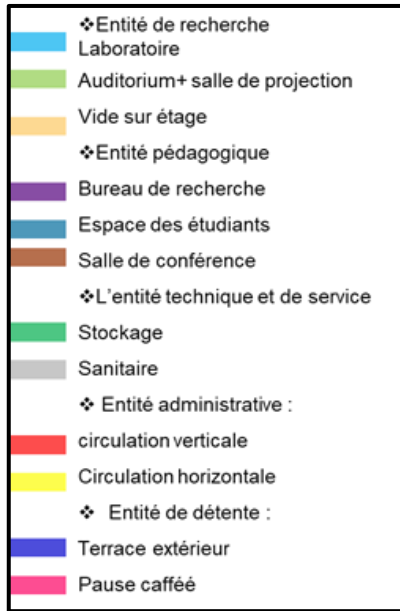


Figure I-47 : Plan du 2^{er} étage

Source : ArchDaily, traité par l'auteur

- L'entité pédagogique est placée en étage intermédiaire (3^{ème}) pour la séparation de flux

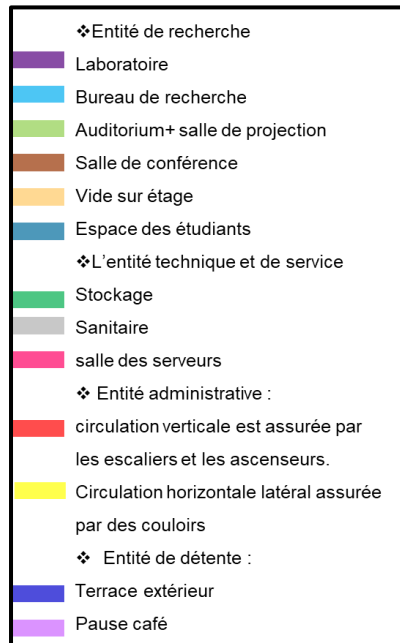


Figure I-48 : Plan du 3^{er} étage

Source : ArchDaily, traité par l'auteur

I.3.2.9. Les coupes :

- Les espaces doubles hauteur
- Eclairage zénithale d'une façon latérale
- Structure apparente qui assure un espace dégagé et la diffusion de la lumière naturelle



Figure I-49 : section A-A

Source : ArchDaily, traité par l'auteur

I.3.2.7. Aspect de durabilité :

Tableau I-03 : L'aspect de durabilité
Source : L'auteur.

Critères LEED appliqués sur Carroll A. Campbell Jr. Graduate Engineering Center at Clemson University united state	
Sites durables	Réduction du nombre de places de parking requis de plus de 20%, permettant d'économiser des fonds et de réduire les surfaces imperméables
Gestion efficace de l'eau	Utilisation de 32% moins d'eau potable que les exigences de base de la loi sur la politique énergétique de 1992
Matériaux et ressources	Plus de 75% des déchets de construction ont été recyclés, soit plus de 1 820 tonnes (plus de 3,5 millions de livres)
Qualité des environnements intérieurs	Utilisation de peintures, adhésifs, tapis et produits d'étanchéité à faible teneur en COV Surveillance de la qualité de l'air par des capteurs de CO2

I.3.3. Analyse d'exemple 03 : Laboratoire de la technologie des matériaux de CANMET

I.3.3.1. Critère de Choix :

- Sa fonction (architecture industrielle)
- Son aspect de durabilité (la certification LEED-NC Silver)

I.3.3.2. Présentation du projet :²⁸

Le Laboratoire de technologie des matériaux CANMET est une installation de recherche et développement située à Hamilton, en Ontario, au Canada, qui se concentre sur la recherche et le développement métallurgique y compris le développement de nouveaux alliages et matériaux, et l'évaluation des performances des matériaux existants

I.3.3.2.1. Fiche technique :²⁹

- Type de bâtiment : architecture industrielle, laboratoire.
- Architectes: Diamond and Schmitt Architects for Natural Resources Canada.
- Superficie : 165000 m² .
- Année de construction : 2011
- Situation : Hamilton, canada
- Résultat du score ou de l'évaluation : la certification LEED Platine



Figure I-50 : Entrée principale du projet.
Source : www.archdaily.com.

²⁸ <https://architizer.com/projects/centre-specialise-de-technologie-physique-du-quebec/>

²⁹ <https://www.archdaily.com/125383/centre-specialise-de-technologie-physique-du-quebec-bisson-associes-carl-charron-architecte>

I.3.3.3. Situation du projet :

Le Laboratoire de technologie des matériaux (CTML) de CANMET est situé au McMaster Innovation Park (MIP), près de l'Université McMaster à Hamilton, en Ontario



Figure I-51 : Plan de situation du projet.
Source : Google Earth

I.3.3.4. Mode d'occupation de la parcelle

- L'espace bâti occupe la majorité de la parcelle

■ Délimitation de terrain
■ Le Cadre Bâti du projet 95%
■ Le Cadre non Bâti du projet 5%



Figure I-52 : Mode d'occupation de la parcelle.
Source: The American institute of architects traité par auteur.

I.3.3.5. La volumétrie :

La volumétrie du centre se compose d'un parallélépipède principal, auquel sont soustraits trois volumes cubiques. Ces soustractions créent trois offrant des espaces extérieurs aménagés.



Figure I-53 : la volumétrie
Source: The American institute of architects.

I.3.3.6. Analyse des façades :

- Le projet présente des façades rythmées par un contraste entre le plein et le vide, l'opacité et la transparence.
- La Façade principale sud vitrées avec protection solaire par des brise-soleils horizontaux en aluminium.
- Grandes baies vitrées horizontales, ainsi que des fenêtres rectangulaires.
- L'horizontalité de la façade.

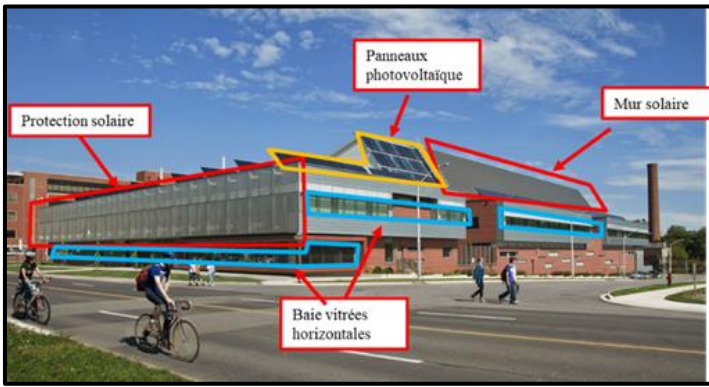


Figure I-54: Façade principale
Source I- : The American Institute of architects, traité par l'auteur

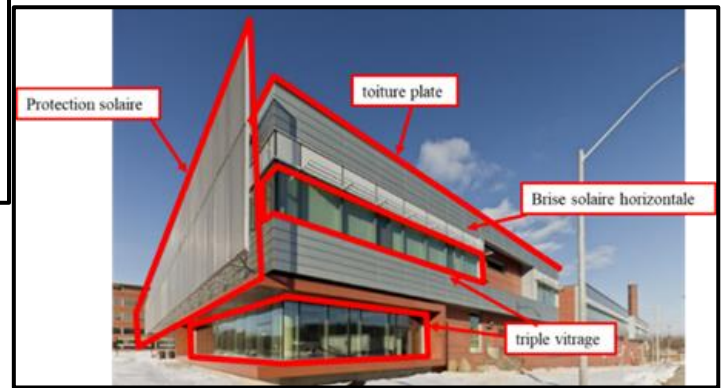


Figure I-55 : Façade ouest avec protection solaire
Source : The American Institute of architects , traité par l'auteur.

I.3.3.7. Lecture et analyse des plans :

- Les espaces sont distribués au niveau du projet sur 3 niveaux :
- Le rez-de-chaussée est un espace qui accueille les laboratoires à double hauteur
- Le 1er étage est occupé par un bureau les laboratoires et une Bibliothèque
- Les 2^{er} étage est occupés par des bureaux et des laboratoires
- Le hall d'entrée principal donne un accès direct aux espaces publics comme l'atrium, l'accueil et les salles de conférence.
- L'atrium végétalisé occupe le cœur du RDC comme un espace de respiration et de connexion.
- Circulation verticale est assurée par les escaliers et les ascenseurs.

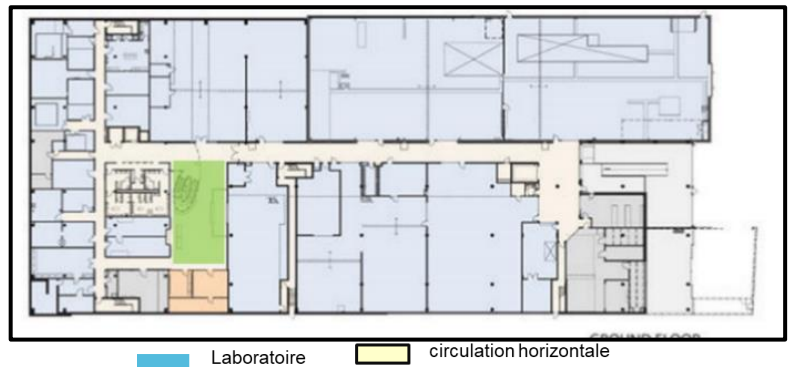


Figure I-56: Plan du RDC
Source: The American institute of architects

- Les laboratoire double hauteur.
- Les espaces de recherche sont divisés sur plusieurs unités de recherche spécialisés, distribués linéairement par rapport aux 2 façades.

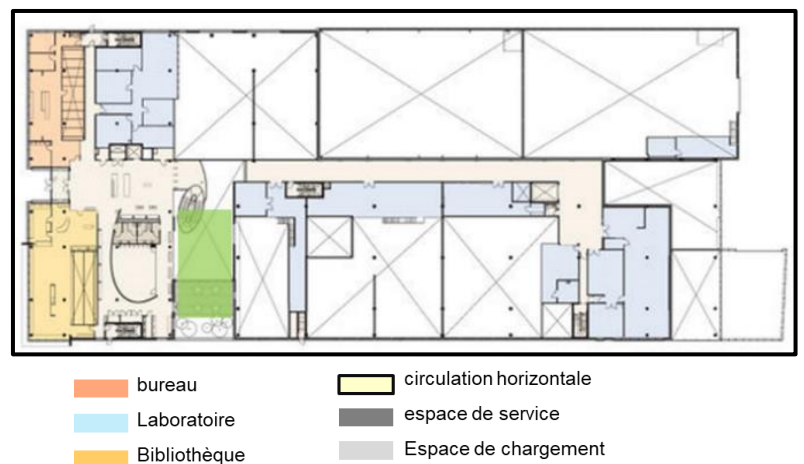


Figure I-57 : Plan du du 1^{er} étage
Source : The American Institute of architects , traité par l'auteur.

- Les bureaux de recherche sont distribués linéairement par rapport aux 3 façades



- bureau
- Laboratoire
- circulation horizontale
- espace de service
- Espace de chargement

Figure I-58 : Plan du 2^{er} étage
Source : ArchDaily, traité par l'auteur.

I.3.3.8. Aspects de durabilité dans le projet :

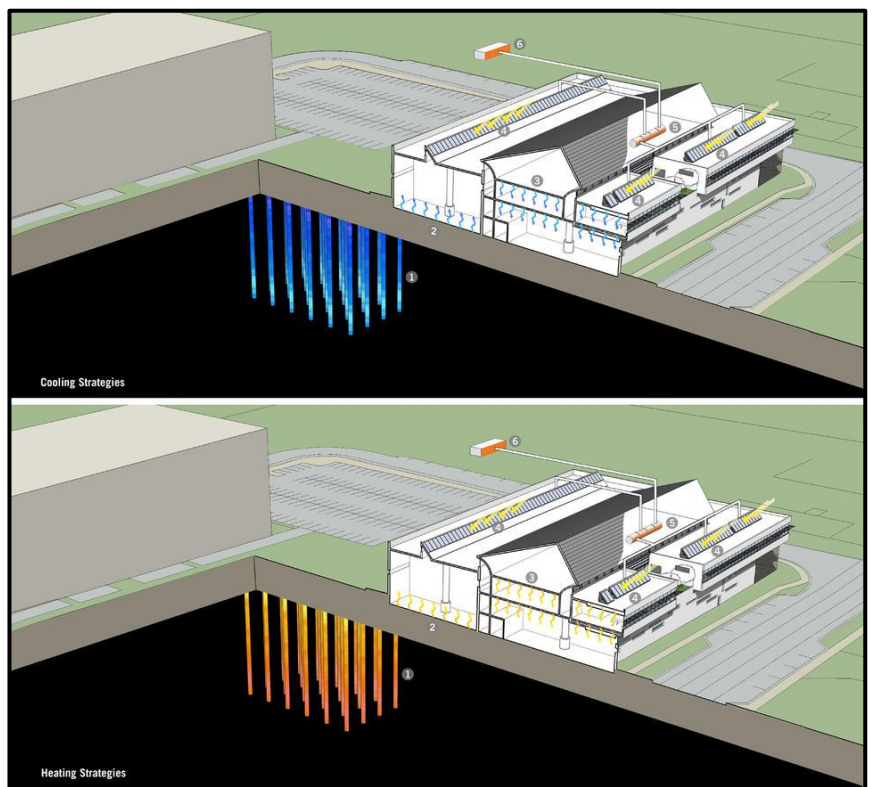
I.3.3.8.1. Les stratégies de chauffage et au refroidissement :

Un toit de 55 000 m est équipé de 209 capteurs solaires thermiques qui couvrent la majorité du rayonnement solaire tout au long de l'année. L'énergie thermique capturée est stockée dans des réservoirs utilisés pour le chauffage par rayonnement et pour l'eau chaude sanitaire.

Le bâtiment est également équipé d'un système de stockage de 40 000 gallons d'eau chaude soit pour trois jours de chauffage.

La quantité excédentaire d'énergie thermique capturée est diffusée dans un puits de champ de géothermie contenant une configuration de 30 boucles reliées à 80 puits profonds de 152 m .

Le toit radiatif est équipé d'un système de chauffage/refroidissement radiant à dalles fonctionnant également pour le rafraîchissement modéré. En été, le champ de géothermie diffuse de la fraîcheur pour répondre au.



- | | |
|---|---|
| 1 Refroidissement/ Chauffage géothermique | 4 Panneaux solaires thermiques |
| 2 Plancher chauffant radiant | 5 Réservoirs solaire thermique |
| 3 Chauffage rayonnant dans le plafond | 6 Citerne de stockage d'énergie thermique |

Figure I-59 : Stratégies de chauffage et de Refroidissement
Source: The American Institute of architects, traité par l'auteur.

I.3.3.8.2. Gestion de l'eau³⁰ :

Le CANMET a une vaste stratégie de réduction et de conservation de la consommation d'eau, mais les objectifs de réutilisation des eaux de pluie ont plutôt soutenu la collecte. L'eau de pluie, détournée de tous les toits, est collectée dans une citerne de 90 000 litres pour être réutilisée dans l'irrigation et l'eau intérieure non potable. Les appareils de plomberie à faible débit commandés par capteur réduisent la consommation d'eau domestique. Le système de collecte des eaux de pluie devrait réduire de 100 pour cent les besoins en eau potable pour le transport des eaux usées et l'irrigation. Les exigences en matière de consommation d'eau potable pour les douches, les lavabos, l'irrigation et le transport des eaux usées ont été réduites de 92 % par rapport aux niveaux de référence prescrits par LEED. Cela équivaut à 0,5 m³/occupant/an.

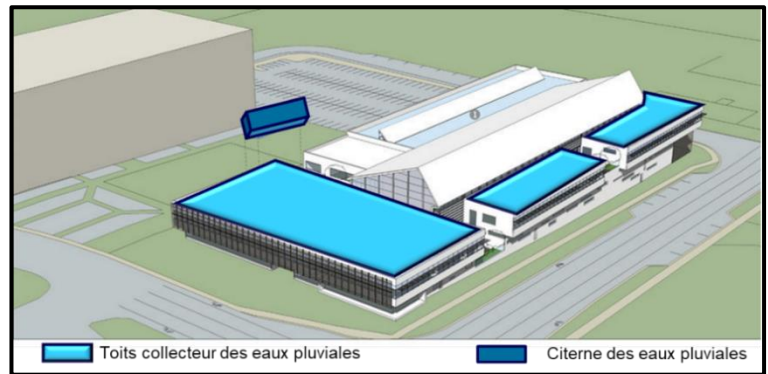


Figure I-60 : Stratégie de réduction et de conservation de la consommation d'eau
Source : The American Institute of architects , traité par l'auteur..

I.3.3.8.3. Stratégie de Ventilation :

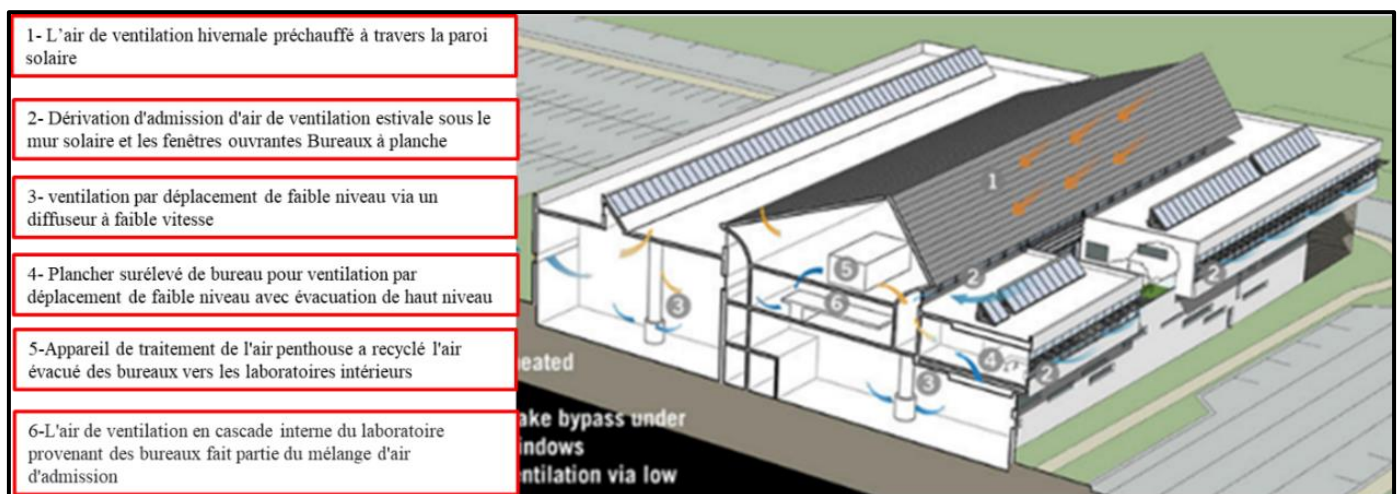


Figure I-61 : Stratégies de Ventilation.
Source : The American Institute of architects, traité par l'auteur.

³⁰ The American Institute of architects

I.3.3.8.4. Confort visuel

Les bureaux bordent le périmètre du deuxième étage pour profiter de la lumière naturelle. La modélisation de la lumière du jour a éclairé la stratégie de vitrage et d'ombrage solaire au périmètre. Les hautes lumières émettrices de lumière entraînent la lumière profondément dans l'espace, les basses lumières claires fournissent une vision et une orientation personnalisée. Ces stratégies associées à des capteurs de lumière du jour et d'occupation réduisent les besoins en énergie électrique pour l'éclairage.

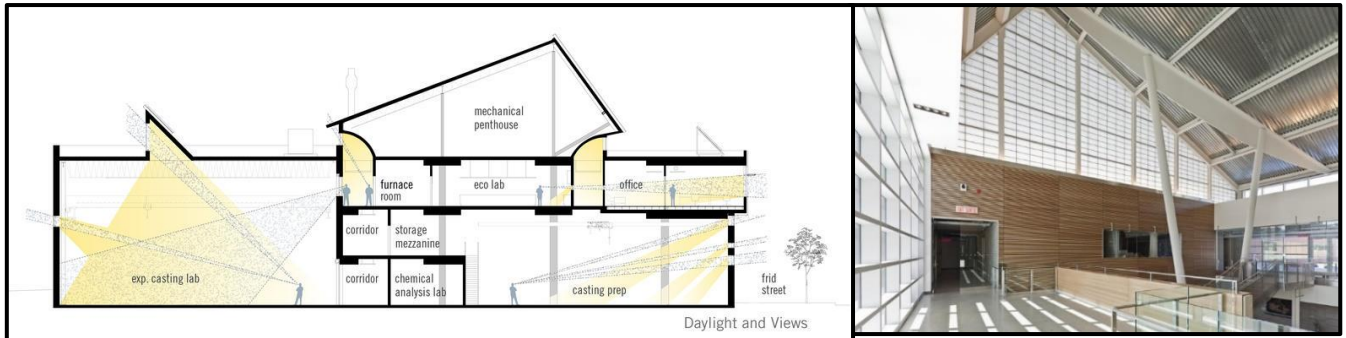


Figure I-62 : coupe de Lumière du jour et vues.
Source: The American Institute of architects

Figure I-63: Atrium rempli de lumière.
Source: The American Institute of architects.

Synthèse :

Au terme de l'étude thématique et de l'analyse des exemples, on a constaté et compilé les points forts issus de ce travail sous la forme d'un tableau récapitulatif :

Situation et accessibilité	<ul style="list-style-type: none"> • Ce genre des équipements situe dans les infrastructures universitaires scientifiques et de recherche • Toujours possède un accès de l'extérieur
Plan de masse	<ul style="list-style-type: none"> • Un espace bâti monobloc et un espace non bâti comme une zone d'accueil et un champ d'essai. • Réduire l'occupation au sol • Variété d'accès (accès principaux, accès de service) afin d'optimiser la circulation dans le projet et séparer les différents flux. • Parcours mécanique limité vers les zones de stationnement. • Parcours piéton libre au niveau de la zone d'accès. • Prévoir des aménagements de détente extérieurs végétalisés. • Aménager des espaces extérieurs dédiés à la production d'électricité à partir de sources renouvelables pour tendre vers une autonomie énergétique. • Exploitez les zones de stationnements existantes ou créer des zones de stationnements réservées au projet.

La Volumétrie	<ul style="list-style-type: none"> • Une forme compacte composée des volumes primaires avec des articulations • Utiliser des galeries avec pilotis aux niveaux de RDC pour une transition hiérarchique des espaces publics vers les espaces privés • Prévoir des décrochements et des portes a faux pour donner de l'ombrage. • Une entrée apparente avec traitements remarquables (auvents, rampes et baies vitrées). • Des patios et des atriums au cœur comme un élément structurant
Les façades	<ul style="list-style-type: none"> • Prévoir des façades légères avec des couleurs et qui donne de la légèreté de l'IA. • Des revêtements métalliques qui reflètent le caractère technologique du projet. • Orientation des façades vitrées au nord. • Intégration des systèmes de protection solaire sur chaque façade pour se prémunir contre la surchauffe : casquettes, brise-soleil, végétation. • Contrôler la pénétration de la lumière de la Façade sud par des dispositifs d'occultation modulables : lamelles orientables-double peaux. • Conception de façades dynamiques pour diffuser la lumière en évitant les reflets. • Les laboratoires sont caractérisés des ouvertures horizontales par contre les espaces communs caractérisés par la dominance de la transparence.
Conception intérieure	<ul style="list-style-type: none"> • La séparation entre l'entité dédiée à la recherche et l'entité commune et de services • Hiérarchisation des espaces de façon à passer progressivement des zones publiques aux zones privées, aussi bien horizontalement dans la distribution des espaces, que verticalement entre les niveaux. • Type de distribution des espaces : hall /couloir/patio/atrium • Les locaux techniques sont localisés au niveau de la Terrasse technique. • Des atriums à l'intérieur du bâtiment pour faire pénétrer la lumière naturelle uniforme et assurer une ventilation naturelle des espaces intérieurs. • Une continuité visuelle entre les espaces et les niveaux est assurée avec des mezzanines et de double hauteur. • Les dimensions des couloirs et des portes des laboratoires sont adaptées à la nature de l'activité. • Prévoir de grandes portes.

CHAPITRE II : ETUDE CONTEXTUELLE

Introduction :

Ce chapitre se concentra sur l'analyse contextuelle de la ville de Laghouat. L'objectif est de sélectionner le terrain d'intervention, d'inscrire le projet dans son environnement, et d'élaborer des stratégies adaptées en tenant compte des spécificités climatique.

II.1.1. Situation géographique :

Laghouat est située à 400 km au sud d'Alger, au pied de l'Atlas saharien, marquant la transition entre le Tell au nord et le Sahara au sud.

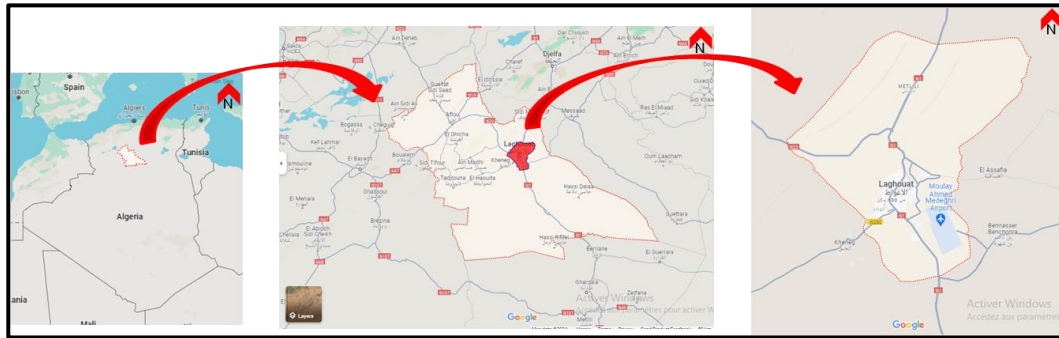


Figure II-01 : Carte géographique de la ville de Laghouat.

Source : Google maps, traité par l'auteur.

II.1.2. Situation Astronomique :³¹

Latitude : 33.80°N

Longitude : 2.88°E

Altitude : 767 mètres

II.2. Les données climatiques de ville de Laghouat :

II.2.1. La zone climatique :³².

Laghouat située dans la zone D appelée la zone pré Sahara et Sahara qui se caractérise par :

-un été chaud et sec qui commence à la fin de Juin et se termine en Septembre.

-un hiver froid

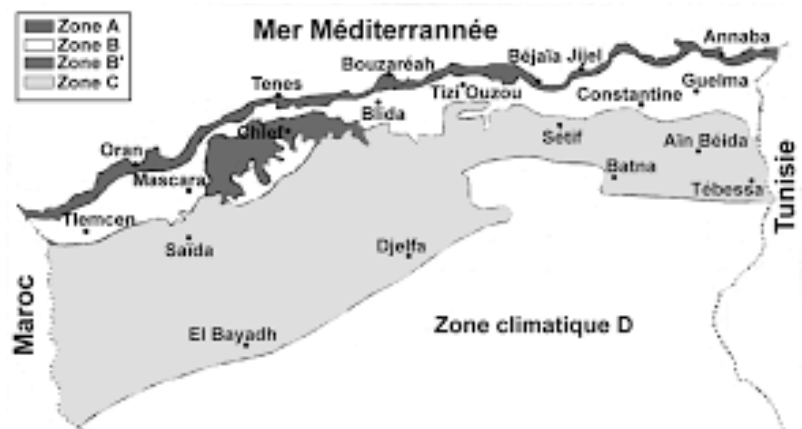


Figure II-02 : Zones climatiques en Algérie

Source : Réglementation thermique algérienne des bâtiments

³¹ <http://www.maplandia.com/algeria/laghouat/laghouat/> consulté le 15/11/2023

³² <https://www.researchgate.net/figure/Zonage-climatique-en-Algerie-3> consulté le 20/10/2023

II.2.1. Les températures :

Le graphe représente la température annuelle (maximale, moyenne, et minimale) de la ville de Laghouat, en fonction d'une zone de confort déterminée du 20°C à 24°C

La zone de climatisation : Moi du mai, juin, juillet, aout et septembre Avec La température maximale atteint jusqu'à 39°C et une température Minimale peut égale 21°C. (été chaud et sec).

La zone de chauffage : Moi du décembre, janvier et février ou la température égale à 15°C et peut descendre jusqu'à 2° dans certain jour de janvier (hiver rigoureux). c. La zone de confort : Moi d'octobre, novembre, mars et avril ou la température extérieure est proche de la température de confort 18°C et 25°C.

Une nette augmentation de la température est observée du janvier à juin.

Une période de stabilité maximale s'étend de juillet à août.

La température décroît pour atteindre son niveau minimum au mois de décembre.

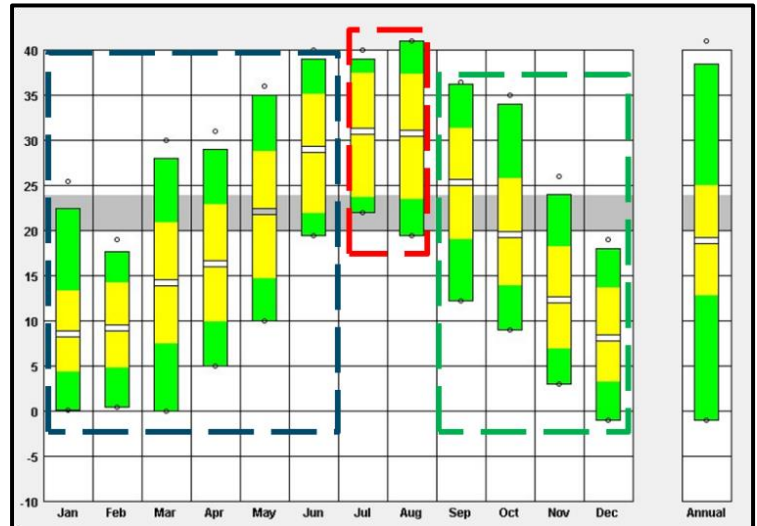
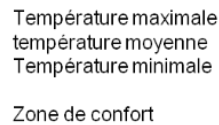


Figure II-03 : Plage de températures

Source : logiciel climate consultant 6.0, traité par l'auteur.

II.2.2. Humidité relative :

L'humidité relative entre 40% et 85% pendant les mois de Novembre, Décembre, Janvier, février octobre

Les mois mars et mai se situent dans la plage de confort avec une humidité relative entre 20% et 60%.

L'humidité relative est faible variant entre 10% et 45% tandis que les températures sèches sont élevés durant les mois de Juin, Juillet et Août.

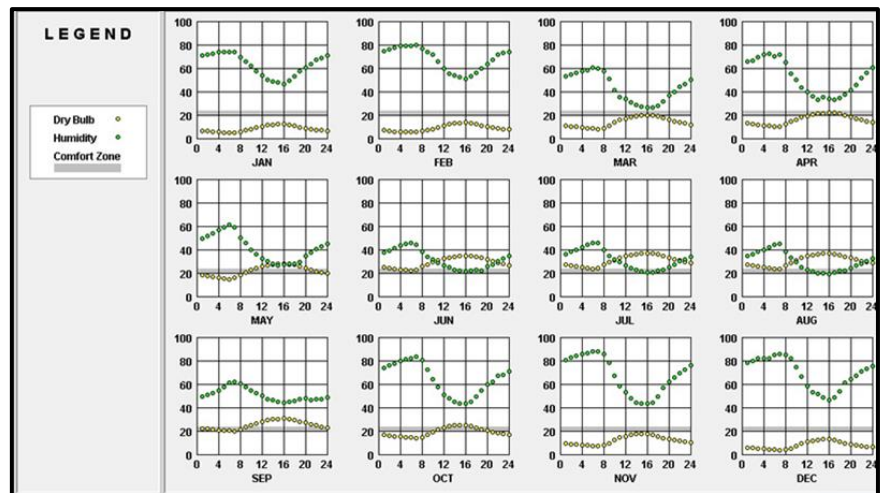


Figure II-04 : L'humidité relative.

Source : métronome V7

II.2.3. Les précipitations :

Le graphe représente que la ville de Laghouat est une région à faible annuelle.

- Le mois d'octobre est le mois le plus pluvieux, avec précipitations moyenne de 27 mm
- Le mois de Juin est le mois le plus aride de l'année avec précipitations moyenne qui ne dépassant pas 15 mm.
- La période la plus sèche s'étale de Mai à septembre puis on observe une augmentation dans la précipitation jusqu'au mois de décembre puis ça diminue encore une fois jusqu'au juin.

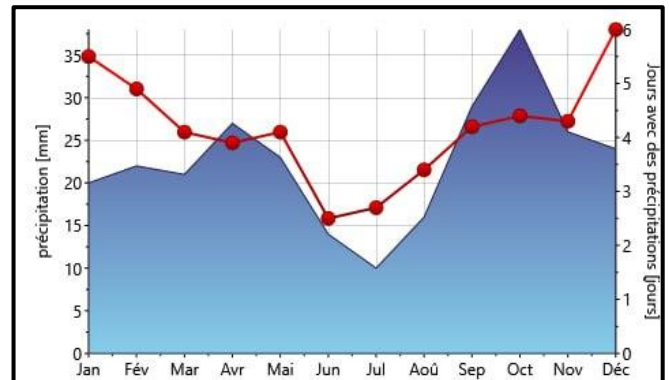


Figure II-05 : Précipitation
Source : Grasshopper + Ladybugtools .

II.2.4. La durée d'ensoleillement :

Ce graphe représente la durée d'ensoleillement mensuelle en heure dans la ville de Laghouat.

Les mois les plus ensoleillés sont mai, juin, et juillet avec environ 14 heures d'ensoleillement

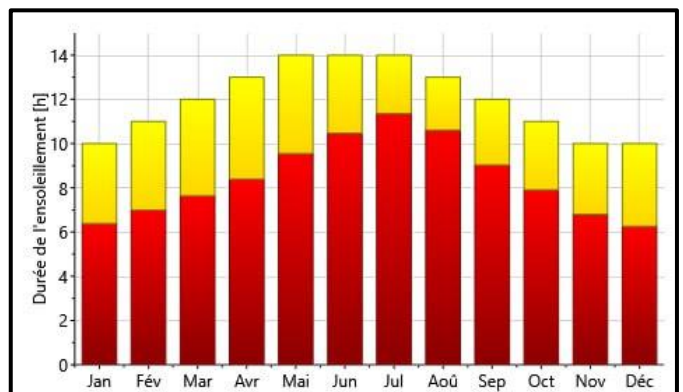


Figure II-06 : La durée d'ensoleillement de Laghouat
Source : métronome V7

II.2.5. Le rayonnement solaire :

Ce graphe représente Le rayonnement solaire mensuelle en (kWh/m²) dans la ville de Laghouat.

- Les mois les plus ensoleillés sont juin, juillet et août, avec environ 220-240 heures d'ensoleillement mensuel.
- Les mois les moins ensoleillés sont décembre et janvier, avec environ 70-80 heures d'ensoleillement mensuel seulement.
- Une augmentation de l'ensoleillement de mars à juin et une diminution de septembre à décembre.

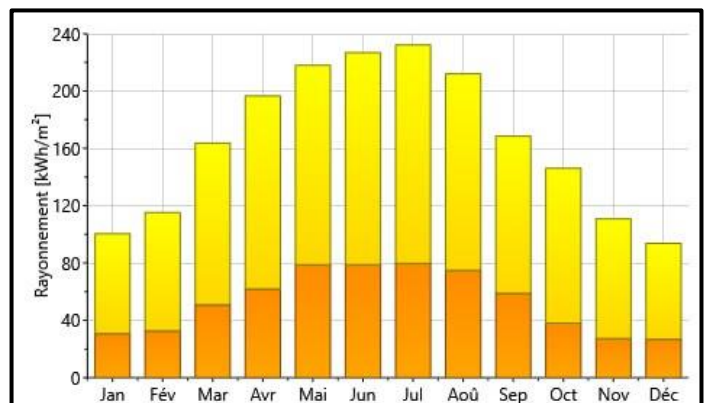


Figure II-07 : le rayonnement solaire
Source : métronome V7

II.2.6. Les Vents :

La figure représente la vitesse et la température des vents annuelle dans la ville de Laghouat.

- Les vents chauds soufflent de sud-ouest, avec une vitesse importante jusqu'au 15.95 m/s et température 43°C.
- Les vents de sable soufflent de l'ouest, avec une vitesse jusqu'au 13.70 m/s et température 25°C.
- Les vents froids soufflent du Nord-ouest, avec une vitesse jusqu'au 13.7m/s et température de 0.2°au 30,16°C.
- Il y a peu de vent d'orientation nord-est et presque nul au sud-est.

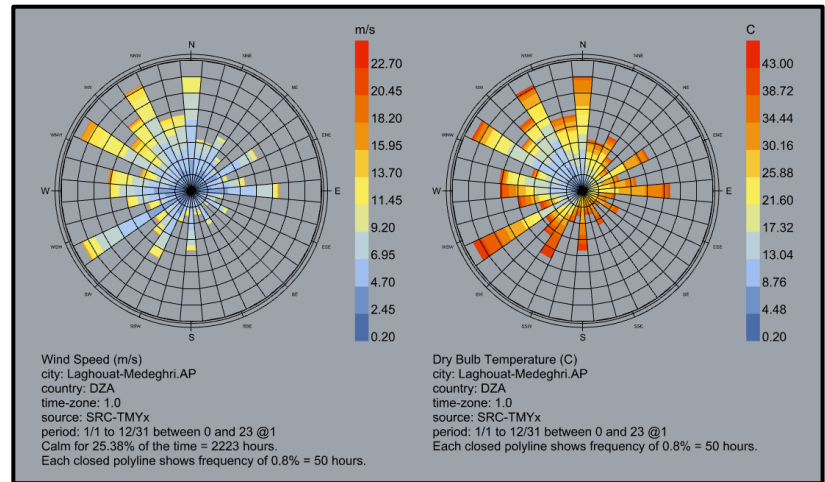


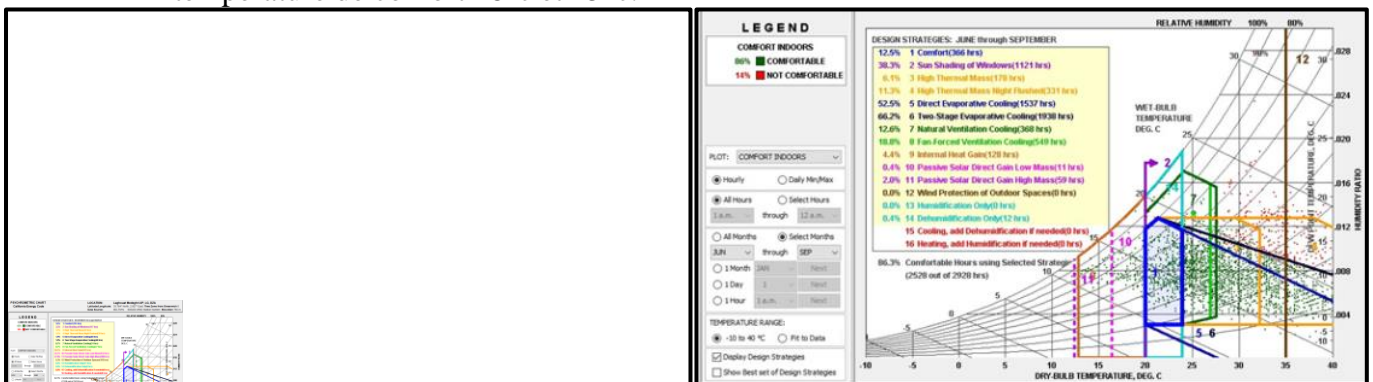
Figure II-08 : Les Vents.

Source : Grasshopper + Ladybugtools.

II.2.7. Le diagramme psychrométrique de la ville Laghouat :

Selon l'analyse du diagramme psychrométrique élaboré pour la ville de Laghouat, il a été observé que :

- La plage de confort s'étend de 20°C à 27°C, avec une humidité de 12% à 80%.
- La zone de sous-chauffe de température comprise entre 0 et 18 °C, nécessitant un système de chauffage, se situe de novembre à février.
- La zone de surchauffe de température comprise entre 28 a 40°C, nécessitant un système de refroidissement et déshumidification si nécessaire et il se situe de juin à septembre.
- La zone de confort octobre, mars, avril et mai ou la température est proche de la température de confort 18°C et 25°C.



Novembre - février.

Juin - septembre.

Figure II-09 : Le diagramme psychrométrique de la ville laghouat¹

Source : Climate consultant 0.6

II.3. Echelle urbaine :

II.3.1. Système routier, activités d'enseignement supérieur et industriel dans la ville ;

Laghouat est desservi par plusieurs axes routiers importants. Tout d'abord, la route nationale N°1. Ensuite, la route nationale N°23 permet de rejoindre le nord-ouest la voie ferrée elle relie Boughezoul (dans la wilaya de Médéa) à Laghouat.

Il existe deux Gares routières, une Gare ferroviaire et un aéroport militaire.

- La route nationale N1
- Voie structurante de l'université
- La voie N23
- La voie ferrée
- Nœud principale de l'université
- Gare routière
- Gare ferroviaire
- Aéroport Moulay Ahmed Medeghri

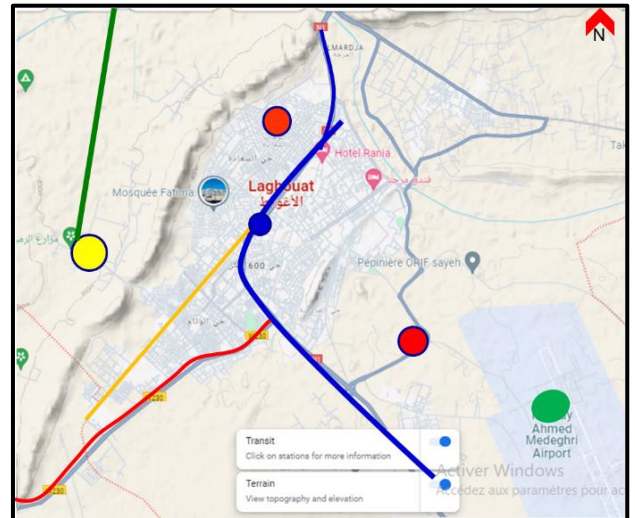


Figure II-10 : Système routier et ses annexes.

Source : Google maps, traité par l'auteur.

Laghouat dispose de plusieurs infrastructures de recherche, d'enseignement supérieur et industrielles, qui sont :

- Le Pôle N1 et N2 Universitaire.
- Le Nouveau Pôle Universitaire N3.
- L'ENS Ecole normale supérieure.
- Le Centre de recherche islamique
- La zone industrielle.

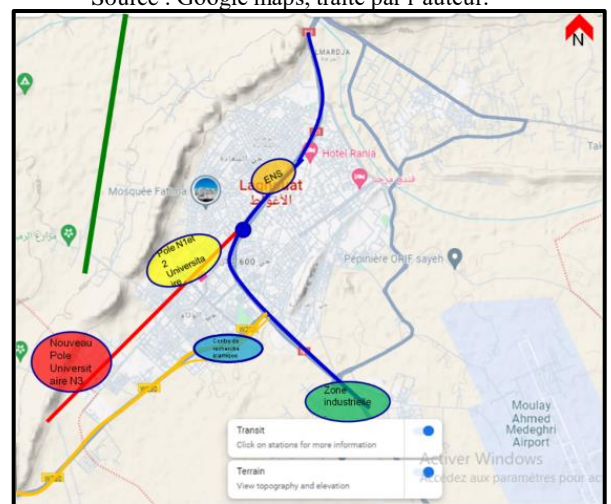


Figure II-11 : Les activités d'enseignement supérieur et industrielle.

Source : Google maps, traité par l'auteur.

II.3.2. Critère de choix de site :

Le choix du Nouveau Pôle Universitaire de Laghouat qui :

- Situé à proximité des infrastructures de recherche et d'enseignement (facultés des sciences et technologie).
- Une bonne accessibilité au site à travers la voie structurante de l'université.

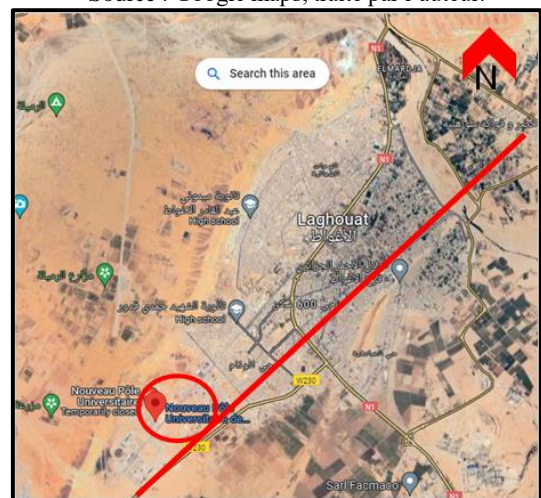


Figure II-12 : Situation du site par rapport à la ville

Source : Google maps, traité par l'auteur

II.3.3. Analyse du site :

II.3.3.1. Accessibilité et flux extérieur :

Le site est accessible par 3 voies mécaniques

On constate deux flux extérieurs :

- Flux important venant de l'entrée principale de l'université
- Flux moyen venant de l'entrée secondaire de l'université.

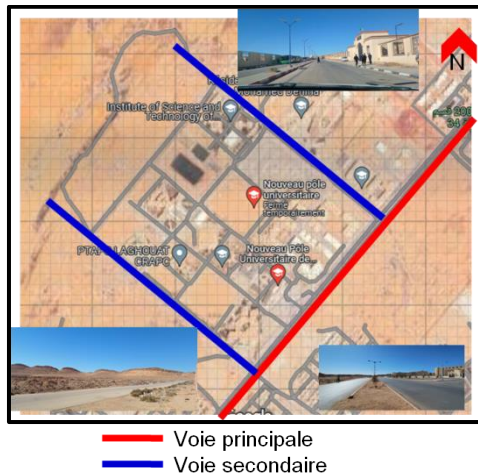


Figure II-13 : Accessibilité de site.

Source : Google earth, traité par l'auteur.

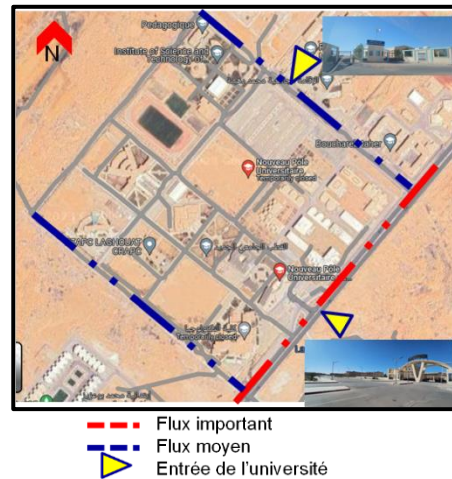


Figure II-14 : les flux extérieurs de site.

Source : Google earth, traité par l'auteur.

II.3.3.2. Composantes de site :

On constate que le pôle universitaire est divisé en deux types d'infrastructures distinctes :

- La pédagogie regroupe toutes les infrastructures dédiées à l'enseignement et occupe une grande partie du pôle.
- L'infrastructure de recherche regroupe les laboratoires et les centres de recherche.

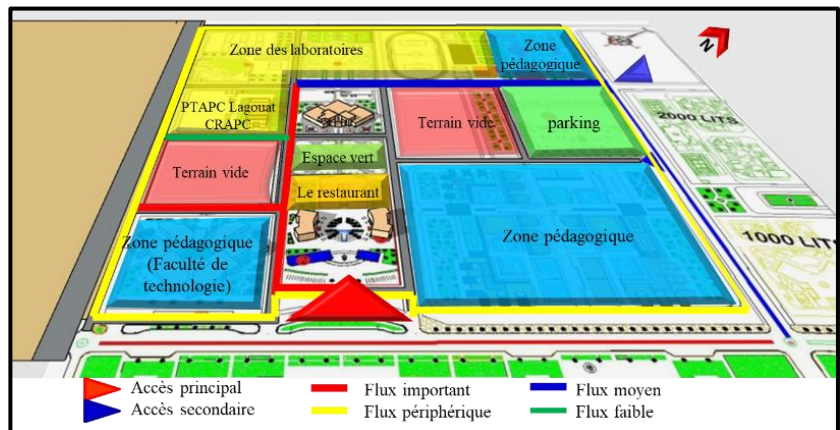


Figure II-15 : Les composantes de site.

Source : PDAU de Laghouat traité par l'auteur.

II.4. Echelle locale :

II.4.1. Critère de choix de terrain :

Le terrain situé à la limite de l'université a été sélectionné selon les critères suivants :

- Sa localisation adjacente à la faculté de technologie facilitera les interactions avec les chercheurs et les étudiants
- Superficie suffisante.

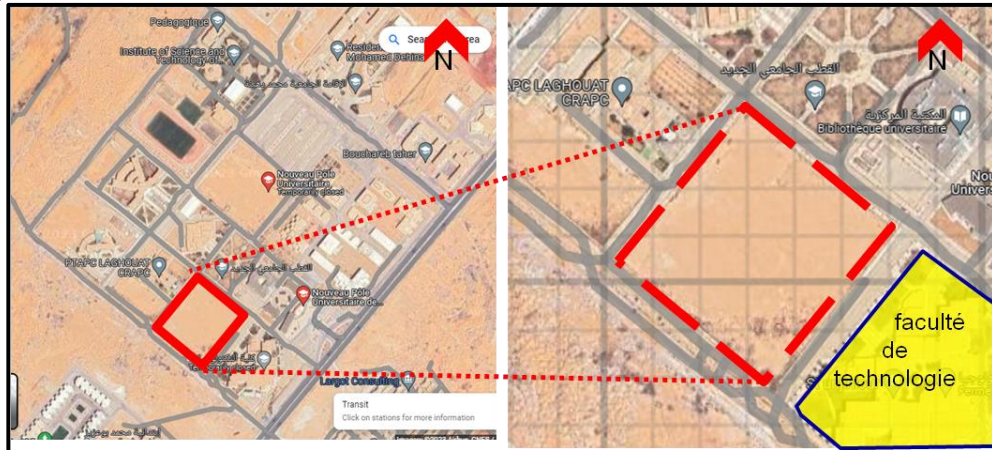


Figure II-16 : la Situation du site d'intervention par rapport au nouveau pôle Universitaire.

Source : Google earth , traité par l'auteur .

II.4.2. Analyse du terrain d'intervention

II.4.2.1. Environnement immédiat :

On trouve des infrastructures universitaires sur les 3 coté et un terrain vide extérieur sur le côté sud-ouest.

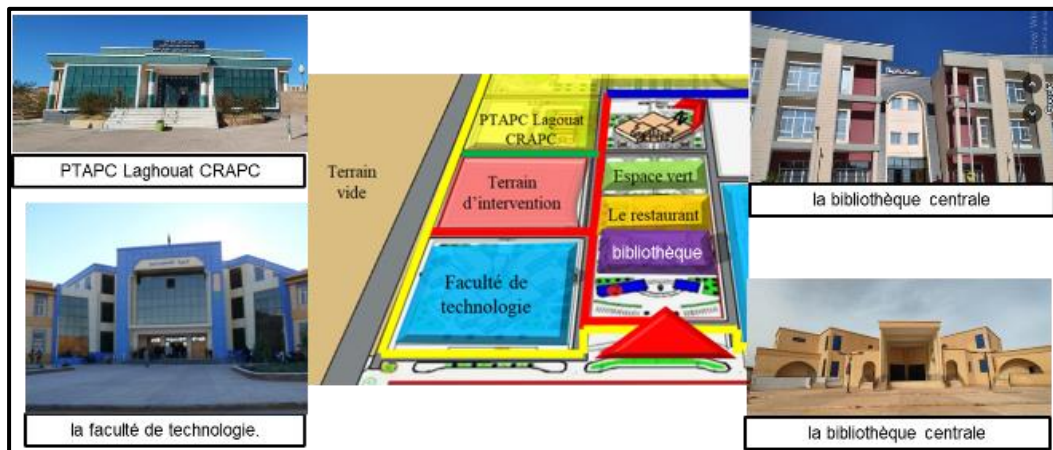






Figure II-17 : environnement immédiat de site d'intervention.

Source : l'auteur

II.4.2.2. Typologies des équipements avoisinants :

- Les bâtiments situés à proximité présentent des gabarits compris entre R+1 et R+4 et adoptent une composition de façade relativement similaire.
- On remarque l'horizontalité des façades et la présence de la symétrie dans toutes les façades par rapport à l'entrée principale du bâtiment (Tableau II-1)

Tableau II-01 : typologie des équipements avoisinants.
Source : l'auteur.

<p>1.PTAPC Laghouat CRAPC R+3</p> 	<p>3.la faculté de technologie. R+2</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des murs rideaux • La tripartition socle soubassement et couronnement 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrée monumentale en saillie • Utilisation des murs rideaux
<p>5.la bibliothèque centrale R+2</p> 	<p>6.Le restaurant centrale R+1</p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Rythme horizontale et verticale 	

II.4.2.3. Impact de l'ensoleillement et les vents sur le terrain :

A travers l'application de l'aspect climatique sur le terrain on constate que :

- Le terrain d'un ensoleillement solaire en l'absence d'effet d'ombrage
- Le terrain est exposé aux vents de siroco son protection au côté sud.

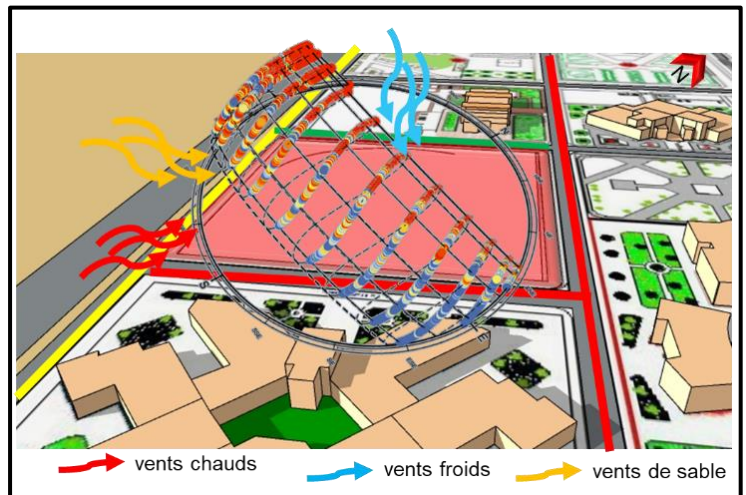


Figure II-18 : Projection de l'ensoleillement et des vents sur le terrain.
Source : L'auteur.

II.4.2.4. Morphologie et topographie du terrain :

- Une forme régulière carrée de 130 m par 130 m.
- Superficie : 17000 m²
- Le terrain est relativement plat.

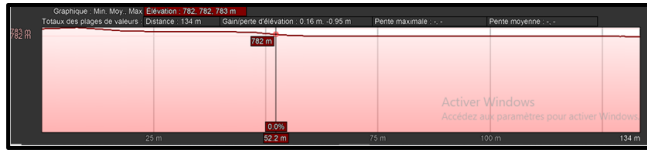


Figure II-19 : Profil d'élévation A-A
Source : Google earth



Figure II-20 : Profil d'élévation B-B
Source : Google earth

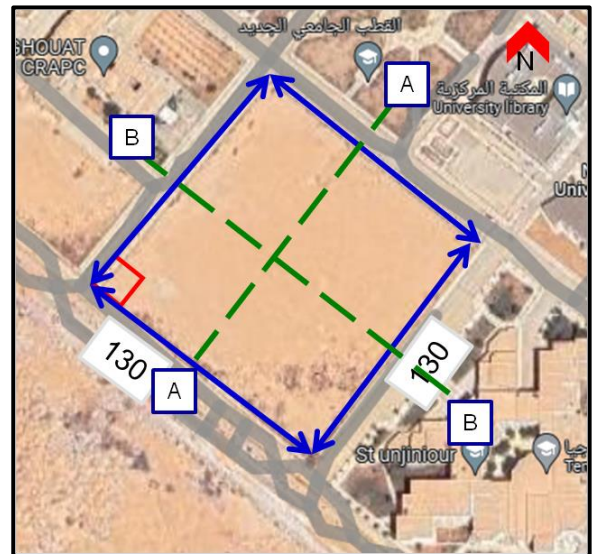


Figure II-21 : morphologie et dimensions du terrain
Source : Google maps, traité par l'auteur.

Synthèse :

Après avoir étudié contextuellement la ville de Laghouat et analysé le site et le terrain du projet, on a conclu que notre projet doit reprendre en compte les points suivants :

Voisinage et accessibilité	<ul style="list-style-type: none"> • Le centre doit garantir une continuité fonctionnelle et spatiale avec la faculté de technologie ainsi qu'avec l'espace vert situé au nord.
Plan de masse	<ul style="list-style-type: none"> • Le choix de l'accès principal du côté de faculté de technologie le plus important flux • Garantir l'accessibilité à travers les parcours de découverte et périphériques. • Création de zone de stationnement accessible par une voie mécanique du côté sud -ouest à la limite de terrain. • Mettre en place un écran naturel faisant barrage aux vents desséchants ou chargés de sable des essences locales filtrera efficacement ces flux d'air tout en participant à la régulation hygrométrique. • Installer des bassins d'eau au Sud du centre afin de rafraîchir les vents chauds en provenance du Sud-Est. • Implantation des arbres à feuilles persistantes à l'Est, au Nord et à l'Ouest du centre de recherche afin de protéger le centre contre les vents. • Implantation des arbres à feuilles caduques Sud-Est au Sud-Ouest, , qui permettent de créer de l'ombre en été et la pénétration des rayons solaires en hiver. • L'orientation nord-sud qui offre la possibilité de bénéficier pleinement des apports solaires hivernaux tout en se préservant des surchauffes estivales. • Le projet ne doit pas dépasser R+4 pour conserver la cohérence du pôle universitaire.

La Volumétrie	<ul style="list-style-type: none"> • La compacité du bâti limitant les surfaces de façades exposées pour réduire les déperditions thermiques • Adopter des formes aérodynamiques et une orientation permettant de diminuer l'impact des vents dominants et de favoriser leur canalisation.
Les façades	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des couleurs claires en façade pour augmenter l'albédo (Plus ce coefficient sera élevé, moins la chaleur sera absorbée et stockée dans les parois.) des surfaces extérieures (pour réfléchir un maximum les radiations solaires). • Intégration des dispositifs de contrôle solaire. • Optimisation de l'éclairage naturel par à la transparence par un vitrage performant.
L'aspect environnemental	<ul style="list-style-type: none"> • Profitez des vents dominants pour assurer une ventilation naturelle. • Création de micro climat par patio et atrium. • Application de stratégie de refroidissement. • Installation des panneaux solaires photovoltaïques et thermiques au sud. • Respecter les critères de LEED.

CHAPITRE : ETUDE PROGRAMMATIQUE

Introduction

Dans le cadre de ce chapitre, nous avons élaboré un programme qualitatif et quantitatif qui guidera la conception en nous basant sur les normes et les exigences réglementaires relatives à la conception des centres de recherche en IA appliquée à la robotique automobile électrique. Puis, à partir de l'analyse d'exemples de référence, nous avons proposé des améliorations à apporter à ce programme initial afin d'optimiser la qualité fonctionnelle du projet. Pour mieux comprendre et avoir des idées et des techniques sur les projets certifiés LEED et les centres de recherche en IA ; il est important de procéder à l'étude des projets similaires existants à analyser selon les critères fonctionnels ; environnementales et lier au climat.

III.1. Les objectifs de programmation :

Les principaux objectifs de l'étude programmatique dans le cadre d'un projet architectural :

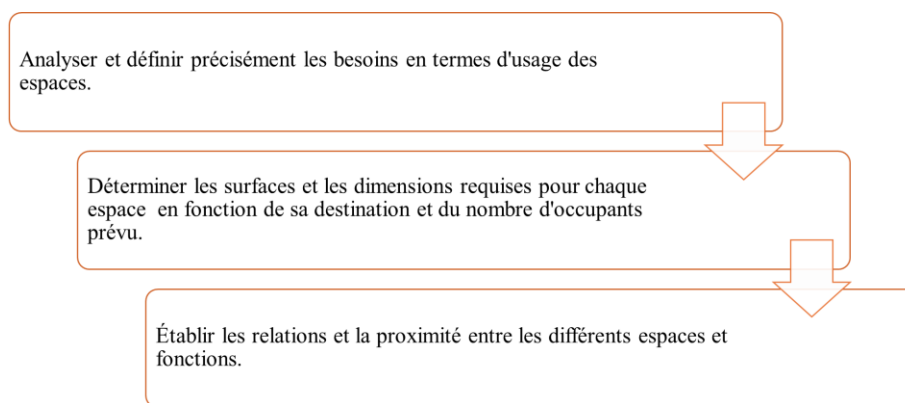


Figure III -01 : objectifs de programmation.

Source : L'auteur.

III.2. Les entités du projet :

-D'après l'analyse des exemples, le programme de base contient 6 entités.

Les entités du projet :

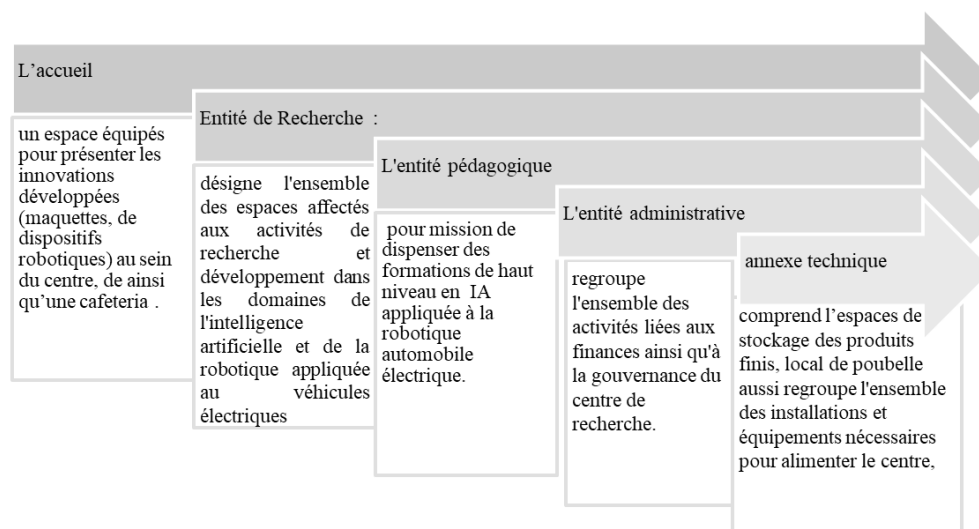


Figure III -02 : Les entités.

Source : L'auteur.

III.3. Le programme quantitatif :

Tableau III -01 : Tableau quantitatif de l'entité de recherche.

Source : l'auteur

L'espace	Surface	Nombre	Surface totale
Laboratoire de développement électrique	90	2	180
Laboratoire de développement TMTEC	90	1	90
Laboratoire d'élaboration des batteries	90	1	90
Laboratoire des moteurs	90	1	90
Laboratoire de mécatronique et robotique	90	1	90
Salles de simulation	65	1	65
Laboratoire d'argile	15	1	40
Laboratoire d'ingénierie	90	1	90
Laboratoire de prototypage	220	1	220
atelier partagé	90	1	90
Bureau de recherche	6	4	24
Bureau de recherche paysagère	50	2	100
Bureau de recherche paysagère	90	2	180
Espace d'exposition	90	1	90
Vestiaire	15	2	30

Une infirmerie	25	1	25
Espace de stockage	9	1	9
Surface totale			

Tableau III-02 : tableau quantitatif de l'entité pédagogique.

Source : l'auteur.

L'espace	Surface	Nombre	Surface totale
Salle de cours	55	4	220
Salle informatique	40	1	40
Salle de documentation	78	1	78
Salle de lecture	70	1	70
Salle de projection	190	1	190
Buanderie	10	1	10
Vestiaire	8	2	16
Sanitaire H/F	15	2	30
Sanitaire PMR	6	1	6
Surface totale			950

Tableau III -03 : tableau quantitatif de l'entité administrative.

Source : L'auteur.

L'espace	Surface	Nombre	Surface totale
Bureaux directeur	35	1	35
Bureau secrétaire directeur	15	1	15
Bureau service comptabilité	40	1	40

Musala	10	2	20
Les sanitaires	8	2	16
Surface Totale			127

Tableau III -04 : tableau quantitatif de l'accueil.

Source : Auteur.

L'espace	Surface	Nombre	Surface totale
Cafeteria	140	1	140
Espace d'exposition	180	1	180
Surface totale			320

Tableau III-05 : tableau quantitatif de l'annexe technique.

Source : Auteur.

L'espace	Surface	Nombre	Surface totale
Chaufferie	40	1	40
Groupe électrogène	25	2	50
Bâches d'eau	20	1	20
Salles de serveurs et data centres	50	1	50
Entrepôts et stockage	250	1	250
Surface totale			400

III.4. Le programme qualitatif :

III.4.1. Entité de Recherche :



Tableau III -06 : Tableau qualitatif de l'entité de recherche.


Source : l'auteur

Laboratoire de développement électrique				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche en IA et robotique • Espace de test et développement de motorisations électriques 			
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Salles blanches, fluides spéciaux, T°C régulée • Orientation : Exposition sud pour bénéficier d'un éclairage naturel • Aménagement : Alimentations électriques puissantes, système de ventilation adapté, zone de test des moteurs isolée phoniquement • Forme : Forme rectangulaire, espace modulable par cloisonnement mobile • Couleur : Murs blancs pour la luminosité, sol gris foncé pour contraste visuel • Composants : Rail de liaison au plafond pour flexibilité, baies et armoires télécom pour gestion des données 			
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Consigne CO2
	20-23°C	500 lux	40 dbA	800 ppm
Laboratoire de mécatronique et robotique				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Mener des expériences, des tests et des analyses pour améliorer la compréhension des phénomènes mécaniques liés à l'automobile. 			
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Orientation : Eclairage naturel privilégié côté Sud • Aménagement : Grandes tables de travail avec alimentations 			




Figure III-03 : Laboratoire de développement électrique
Source : <https://www.rtb.be/article/l-iran>

	<p>électriques et réseau, système d'aspiration. Ponts roulants.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Couleur : Murs clairs, sol foncé pour le contraste • Composants : Etabli à hauteur réglable, caissons de rangement à roulettes 			
<p>Figure III-04 : Laboratoire de mécatronique et robotique Source : www.formation-industrie.bzh</p>				
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Consigne CO2
	20-25°C	300 lux	30dbA	800 ppm
Laboratoire d'élaboration des batteries				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche en IA et batteries 			
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement : Sorbonnes, protections et détecteurs incendie, stockage sécurisé • Forme : Ilot central avec distribution tout autour • Couleur : Sol clair pour faciliter la détection des salissures, murs gris neutre • Composants : Paillasse de labo, vitrines d'expérimentation, équipements de mesure 			
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Consigne CO2
	20-23°C	500 lux	40 dbA	800 ppm
Salle de simulation				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Simulations numériques • Tester les véhicules en conditions virtuelle • Espace pour la conduite de véhicules en simulation 			

Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Orientation : Occulter la lumière naturelle. • Aménagement : Système de restitution de mouvement, écrans panoramiques de conduite, postes opérateurs de contrôle • Forme : Rectangulaire et modulable si plusieurs simulateurs • Couleur : Murs et plafonds sombres pour visibilité maximale des écrans • Composants : Sièges et commandes réalistes, capteurs immersifs, système de projection haute-fidélité • Environ 6m de large pour accueillir le simulateur avec restitution de mouvement • 8 à 10m de long pour le champ de projection panoramique • Hauteur sous plafond d'environ 3m • Température contrôlée entre 20-25°C pour le fonctionnement optimal des équipements électroniques 	
<p>Figure III-06 : Salle de simulation Source : www.usinenouvelle.com</p>		

Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairement	Niveau acoustique	Consigne CO2
	20-25°C	300 lux	30dbA	800 ppm

Laboratoires d'ingénierie


Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratoire d'essais mécaniques 		
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement : Machines d'essais mécaniques • Forme : Halle rectangulaire • Couleur : Murs clairs, sol foncé pour le contraste • Autres : Isolation vibratoire et acoustique, distribution électrique triphasée 		<p>Figure III-07 : Laboratoires d'ingénierie Source : https://fr.freepik.com/</p>

Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairement	Niveau acoustique	Consigne CO2
--------------------	-------------------	----------------------	-------------------	--------------


	20-23°C	500 lux	40 dbA	800 ppm
Laboratoire des prototypes				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication des prototypes 			
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Situé au RDC afin de faciliter la manutention des équipements. • Prévoir de grands accès pour permettre l'entrée des matières premières et la sortie des produits finis. • Opter pour une grande hauteur sous plafond (6m minimum) pour installer des ponts roulants et manipuler des charges volumineuses. • Choisir des matériaux de construction robustes, industriels, facilement lavables comme le béton ciré ou la tôle laquée. • Installer un sol lisse, continu et résistant pour le passage de chariots élévateurs (résines ou béton ciré). • Prévoir un réseau de gaines techniques en plafond ou sur consoles pour la flexibilité des installations. • Isoler les machines bruyantes ou générant des vibrations sur plots anti-vibratiles et les capoter. • Résistance des sols, hauteur, portance des planchers • Installation une ventilation mécanique adaptée pour le renouvellement d'air et l'extraction des polluants. • Les équipements : Imprimantes 3D 			
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Consigne CO2
	18-21°C	750 lux	70dbA	1000ppm
Les vestiaires				



Figure III-08 : Laboratoire des prototypes
Source : <https://www.autoplus.fr/>

Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • 3m2 par personne, en comptant les espaces de circulation. • Opter pour une forme rectangulaire ou carrée selon la configuration du bâtiment. Les circulations seront linéaires pour faciliter les flux • Equiper chaque vestiaire de casiers individuels • Choisir des matériaux résistants et faciles d'entretien comme le carrelage ou le béton ciré pour les murs et sols. • Assurer un éclairage uniforme par tubes LED et une ventilation efficace pour l'hygiène et le confort. • Placer les poubelles à des emplacements pratiques. • Séparer clairement la zone sale (arrivée atelier) de la zone propre (sortie vestiaires) via un sas. 	 <p data-bbox="1070 757 1358 813">Figure III-09 : vestiaires Source : https://i.pining.com</p>
-----------	--	---


Cellule d'essais technique

Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Espace pour les essais techniques des véhicules 		 <p data-bbox="959 1402 1366 1458">Figure III-10 : Cellule d'essais technique. Source : www.cidj.com/metiers/ingenieur</p>
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Espace pour les essais techniques des véhicules 		

Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Consigne CO2
	20-25°C	100 lux	85dbA	800 ppm


Espace d'exposition

Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Présentation projets • Espaces modulables équipés pour la présentation de véhicules, de maquettes, de dispositifs robotiques à des fins de démonstration et de promotion des savoir-faire du centre. 	
----------	---	--

Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • La hauteur sous plafond devra permettre l'exposition de gros véhicules et installations. • Une hauteur minimale de 4 à 5 mètres • Flexibilité : des cloisonnements modulaires et une distribution technique permettant une évolution des espaces. 			
<p>Figure III-11 : espace d'exposition. Source : https://www.coroflot.com/patrickmkelly/Exhibit-Design-Transportation</p>				
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Consigne CO2
	22-25°C	500 lux	45 dbA	600ppm

III.4.2. Entité pédagogique :

Tableau III-07 : Tableau qualitatif de l'entité pédagogique.
Source : l'auteur

Salle de cours		
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Salle de formation 	
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Privilégier une exposition nord pour une lumière naturelle optimale. • Prévoir 1,5 m² par place assise • Opter pour une configuration rectangulaire ou carrée • Tons pastel apaisants pour les murs. • Plafond blanc avec effet réfléchissant pour profiter au mieux de la lumière naturelle. • Superficie nette par étudiant = 1,2 à 1,9 m² • Profondeur des rangées de tables = 0,9 à 1,2 m • Largeur des allées = 0,6 à 0,9 m • Espacement latéral entre tables = 0,6 m minimum • Formule : Capacité = Surface 	
		
	<p>Figure III-12 : Salle de cours Source : Pinterest</p>	

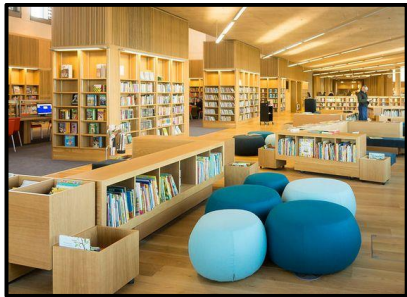
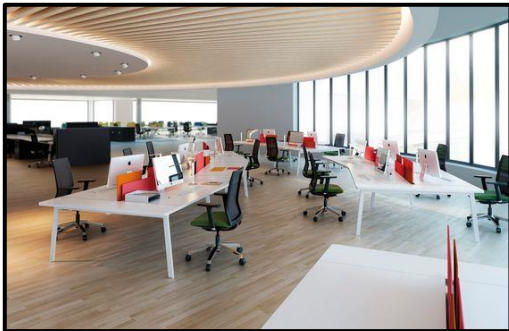
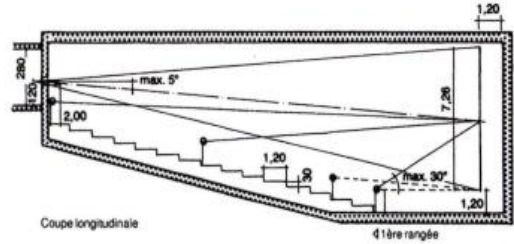


	nette / Superficie par étudiant			
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Débit d'air
	21-25°C	300 a 500 lux	40 dbA	18m3/h/pers
Salle de documentation				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Salles de lecture individuelles et collectives • Zones de détente et d'échanges informels 			
<ul style="list-style-type: none"> • Exigences 	<ul style="list-style-type: none"> • L'orientation nord est idéale pour garantir un éclairage naturel uniforme sans éblouissement 			
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Débit d'air
	21-25°C	500 lux	50 dbA	45m3/h/pers
Les bureaux de recherche				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • Espace de travail individuel pour les chercheurs 			
Localisation	<ul style="list-style-type: none"> • Positionnement permettant une distribution vers les différentes entités 			
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> • Bureaux individuels : 12 m2 • Bureaux duo : 18 m2 • Open spaces : Prévoir 5 m2 par chercheur 			
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Débit d'air
	21-25°C	500 lux	50 dbA	18 m3/h/pers
Salle de projection				

Figure III-13 : Salle de documentation.
Source : Pinterest


Figure III-14 : bureaux de recherche
Source : Pinterest


Fonction	<ul style="list-style-type: none"> Espace de projection des films 			
Exigences	<ul style="list-style-type: none"> Elle ne doit recevoir pendant les projections aucune autre lumière que celle des éclairages de secours. Construire les murs et plafonds en matériaux non réfléchissants et dans des couleurs pas trop claires. Les visiteurs doivent être assis à l'intérieur du bord extérieur de l'image. L'angle de vision vers le milieu de l'image ne doit pas dépasser 30° depuis le premier rang Distance de l'écran au mur pour THX au moins 120 cm selon la taille de la salle et le système, réductible jusqu'à 50 cm Superficie nette par personne assise = 0,6 à 0,8 m² Profondeur des rangées = 0,9 à 1,2 m Largeur des allées = 1,2 m minimum Formule : Capacité = Surface nette / Superficie par personne 		<p>Figure III-15 : norme de Salle de projection Source : neufert</p> 	
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairément	Niveau acoustique	Débit d'air
	20°C	500 lux	60 dbA	45m3/h/pers
Salle informatique				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> La salle informatique a pour fonction de soutenir la formation des étudiants et leur permettre de mener des activités de recherche appliquée en IA et robotique pour le domaine automobile. 			

<ul style="list-style-type: none"> Exigences 	<ul style="list-style-type: none"> Bonne organisation du mobilier en fonction de l'éclairage Installation de stores ou rideaux spéciaux pour faciliter la rétroprojection Utilisation d'un éclairage artificiel. Équipement Des ordinateurs, 		 <p>Figure III-17 : Salle informatique Source : Pinterest</p>	
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Débit d'air
	21°-26°C	300 lux	30-60 dbA	45m3/h/pers

III.4.3. Entité administrative :

Tableau III-08 : Tableau qualitatif de l'entité administrative.
Source : l'auteur

Bureau de directeur				
Fonction	<ul style="list-style-type: none"> Un espace de travail pour le directeur. 		 <p>Figure III-18 : Bureau administratif Source : https://www.behance.net</p>	
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Débit d'air
	21-25°C	300 à 500 lux	40 dbA	18m3/h/pers
Bureau secrétaire				

Fonction	<ul style="list-style-type: none"> • La réception des visiteurs. 		 <p>Figure III-19 : Bureau secrétaire Source : https://i.pinimg.com</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Localisation 	<ul style="list-style-type: none"> • A proximité du bureau de directeur. 			
Confort d'ambiance	Confort Thermique	Niveau d'éclairage	Niveau acoustique	Débit d'air
	21-25°C	300 à 500 lux	40 dbA	18m ³ /h/pers

Synthèse :

Au cours du processus de conception de notre centre, il est crucial de tenir compte des éléments suivants :

- La hiérarchisation des espaces selon les entités et la nature des espaces.
- Répartition des fonctions selon leur relation et exigences.
- Intégration de la végétation dans les espaces de regroupement.

CHAPITRE IV : ETUDE ARCHITECTURALE

Introduction :

La conception architecturale de notre centre de recherche se base sur les données et les analyses présentées dans les chapitres précédents, notamment l'étude thématique et analytique, l'étude contextuelle et l'étude programmatique. Elle s'appuie sur plusieurs aspects clés, notamment :

- l'approche métaphore inspirée du "rotor et stator".
- La thématique du projet, qui se focalise sur la robotique des véhicules électrique
- Le programme et ses exigences.
- Les caractéristiques du site (le pôle universitaire).
- L'aspect environnemental du projet (LEED).

IV.1. Genèse du projet :

IV.1.1. Etat du lieu :

- Le terrain situé a la limite de l'université.
- Le terrain du projet est délimité par quatre voies de circulation
- la surface totale du terrain est de 17388 m²
- L'absence de masques qui générerait des effets d'ombrage.
- Le terrain est exposé aux vents de siroco son protection.

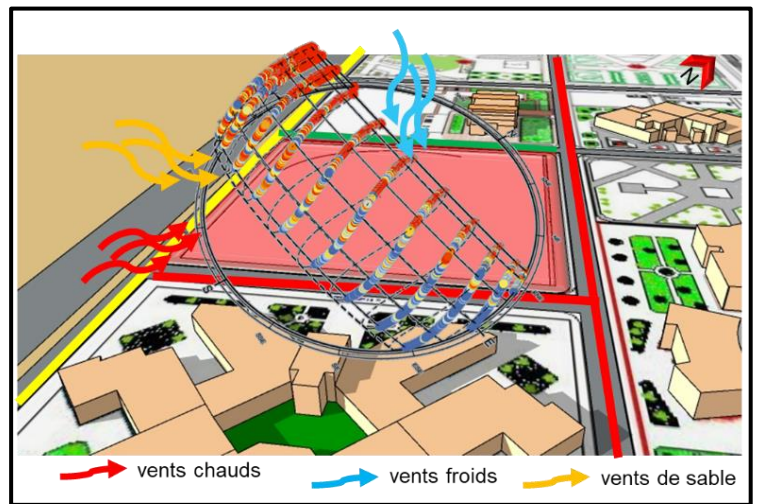


Figure IV-01 : Etat du lieu du terrain.

Source : L'auteur.

IV.1.2. Choix des accès :

- L'emplacement de la zone d'accès principal en fonction de flux important et pour garantir la visibilité du projet depuis le parking.
- Création d'un accès de service à la limite de sud-ouest du terrain au niveau du parcours mécanique périphérique.

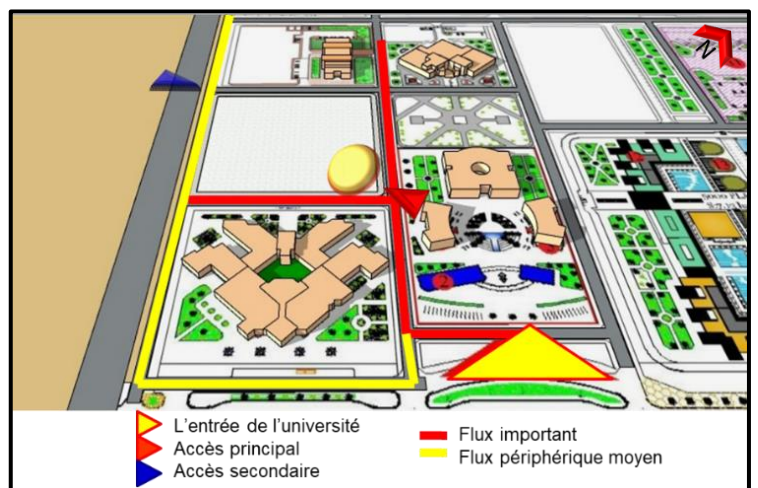
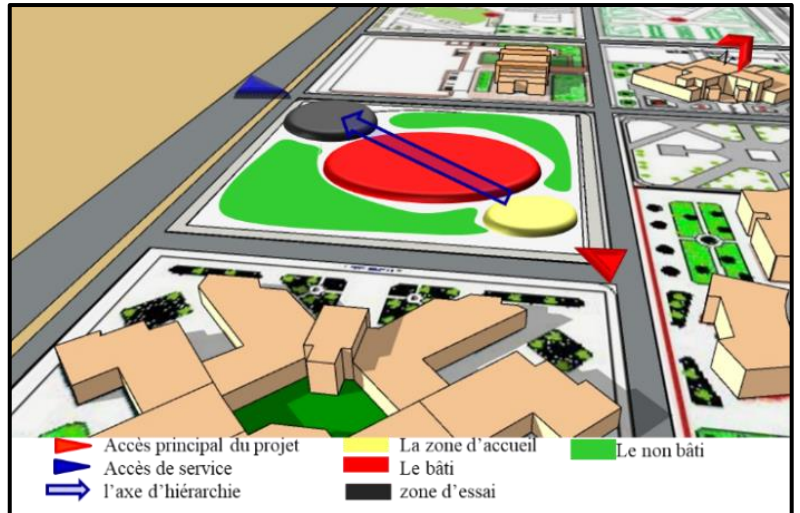


Figure IV-02 : Le choix des accès

Source : L'auteur

IV.1.3. Mode d'occupation :

- On a devisé le terrain en 3 parties selon l'axe d'hierarchie:
- Une zone d'accueil : c'est une continuité de la zone d'accès principale
- La masse bâtie : le centre de recherche.
- Une zone d'essai (privé) : à la partie postérieure du terrain.



- Réorientation de la masse vers le nord-sud pour des raisons environnementales.

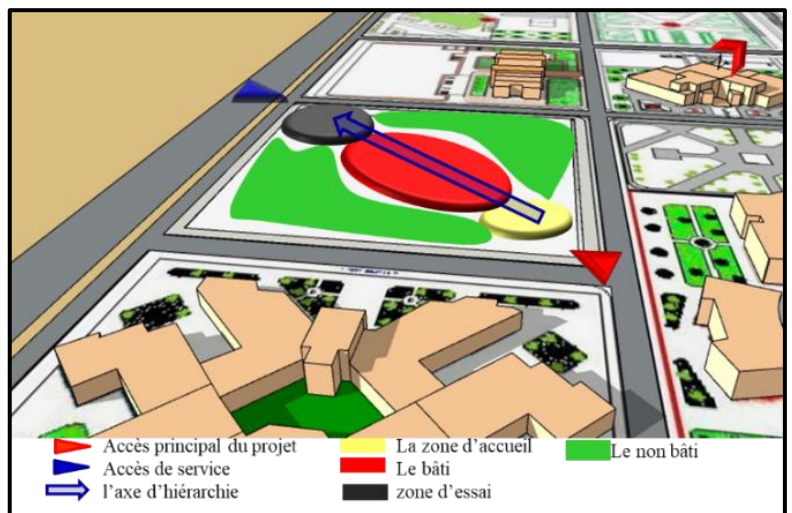


Figure IV-03 : mode d'occupation
Source : L'auteur

IV.1.4. Zoning des entités :

La distribution des différentes entités s'appuie sur le concept d'hierarchisation des utilisateurs.

- L'entité d'accueil en face la zone d'accueil principale (relation directe).
- L'entité de recherche occupe la majorité de la masse bâtie dans la partie postérieure avec une extension vers le champ d'essai.
- L'entité pédagogique est implantée entre les 2 entités.
- Les annexes techniques sont éloignées à côté de l'accès de service.

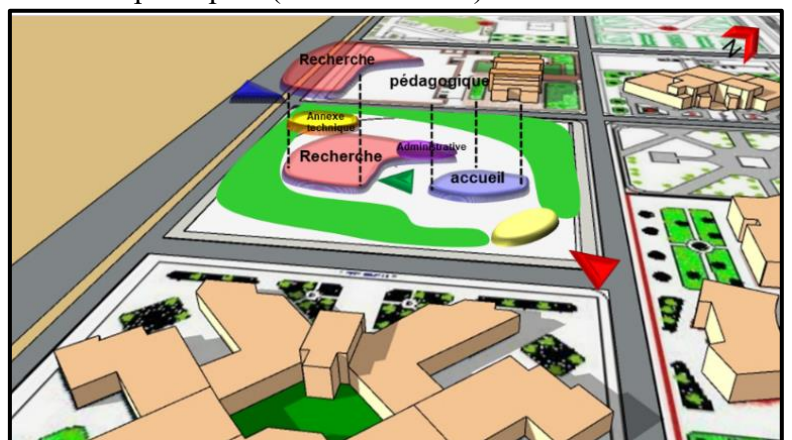


Figure IV-04 : Zoning des entités
Source : L'auteur

IV.1.5. Zoning extérieur :

On a 4 types de zones :

- Zone d'accès espace de transition entre l'accès principale et l'accueil. Alignement d'arbres Formant une allée végétale menant à l'entrée principale
- Zone d'étude et exposition pour les étudiants du côté nord aménagée par des pergolas
- Zone d'essai : contient les hangars le parking (divisé en deux parties une pour les véhicules de service la deuxième pour les chercheurs), Cette zone est articulée directement vers les ateliers. La protection végétale contre les vents dominants du nord-ouest par des brises vents.
- La zone de rencontre : entre la faculté de technologie et le centre situé au sud, elle est limitée par le parking

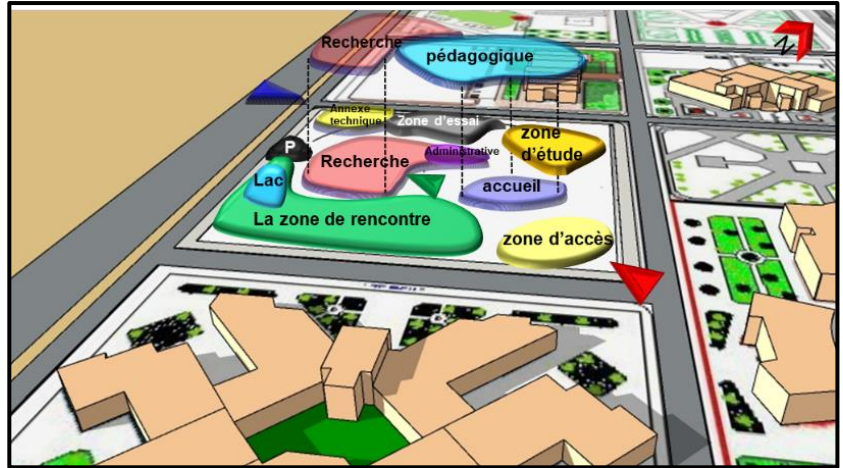


Figure IV-05 : Zoning extérieur
Source : L'auteur

IV.1.6. Les parcours :

- Parcours de franchissement mène directement vers l'accueil et les activités communes (exposition et conférence).
- Parcours extérieurs articule les espaces extérieurs aménagés
- Parcours mécanique limité vers la zone de stationnement.
- Parcours d'articulation qui assure la continuité du projet avec le reste des espaces verts du pôle universitaire

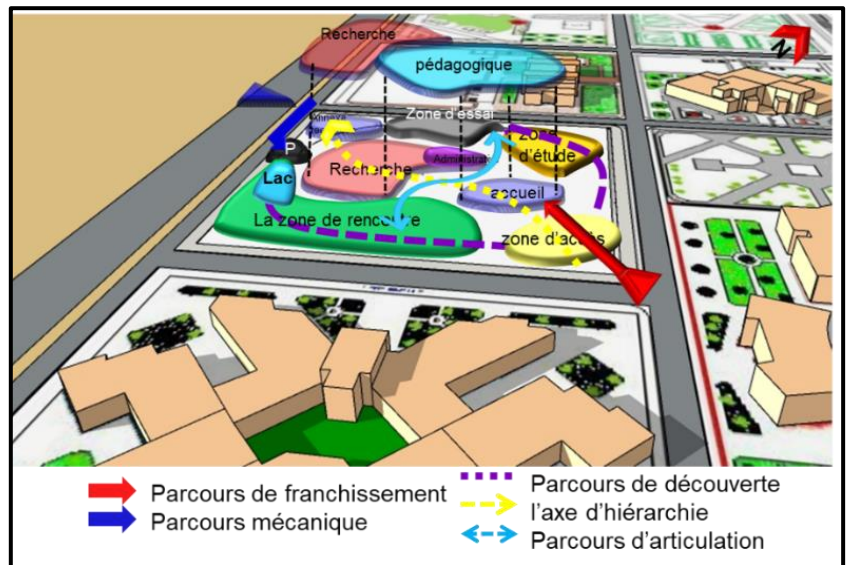


Figure IV-06 : Les parcours
Source : L'auteur

IV.1.7. La trame et la géométrie :

Le plan de masse du projet s'appuie sur deux trames orthogonales :

- Une trame perpendiculaire générée par la voirie.
- Une trame s'aligne sur les bâtiments avoisinants tel que la faculté de technologie, restaurant et l'espace vert.

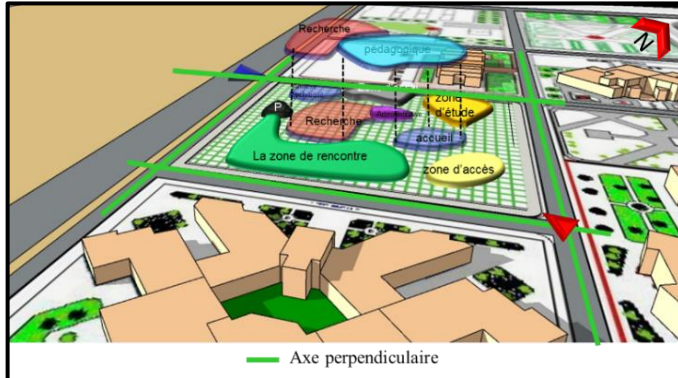
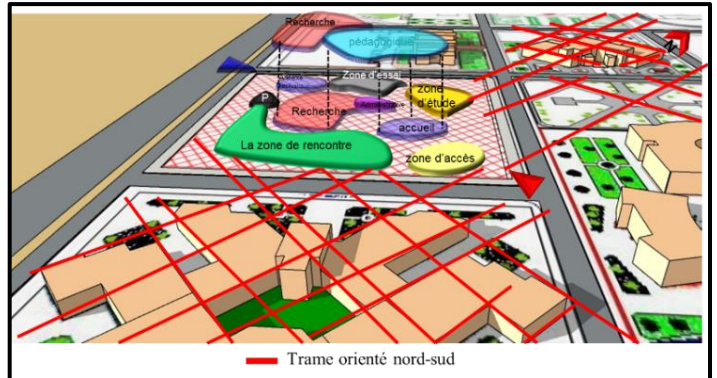


Figure IV-07 : les trames



Source : L'auteur

IV.2. L'idée métaphorique :

Le moteur pour voiture électrique fonctionne grâce à un champ (électro)magnétique pour créer un mouvement. Il existe deux sortes d'électromoteurs : synchrones et asynchrones.

Le centre de recherche est structuré dans une métaphore de base du moteur électrique avec son rotor en rotation et son stator stationnaire ; Le rotor représente le progrès perpétuel de la recherche, et le stator représente l'approche établie des connaissances académiques alors que ensemble leur interaction symbolise la transformation des connaissances du domaine académique théorique en application concrète dans l'industrie (énergie mécanique). Ceci représente le seul processus qui rend possible la robotique des véhicules électrique.

Le stator et le rotor symbolisent les liens indissociables et la collaboration nécessaire entre le monde académique et le secteur industriel, pour assurer un progrès constant dans le domaine de la robotique électrique.

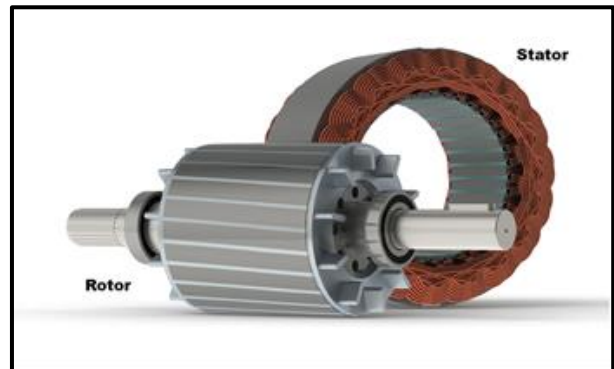


Figure IV-08 : le choix d'une source d'inspiration

Source : <https://www.moniteurautomobile.be>

IV.2.1. La formulation de l'idée :

La matérialisation de l'idée sur le terrain par 2 cylindres, le stator et le rotor.

Le stator c'est l'entité de recherche et le rotor c'est l'entité d'accueil et d'exposition.

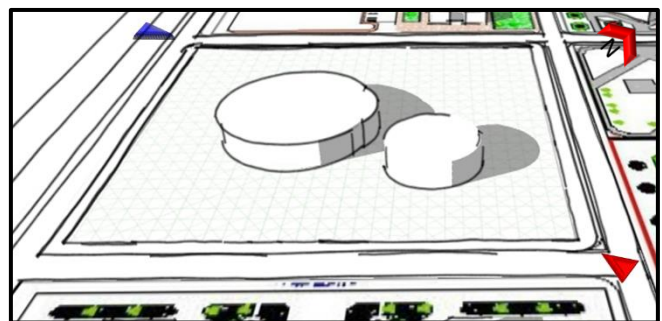


Figure IV-09 : La projection des cylindres sur le terrain

Source : L'auteur

Articulation des deux cylindres par un volume intermédiaire (le parallélépipède) dans le niveau supérieur orienté nord-sud symboliserait l'arbre de transmission à l'intérieur du moteur électrique. (Dans un moteur électrique, le shaft est l'élément cylindrique qui relie le rotor au stator et permet la transmission du mouvement rotatif.)

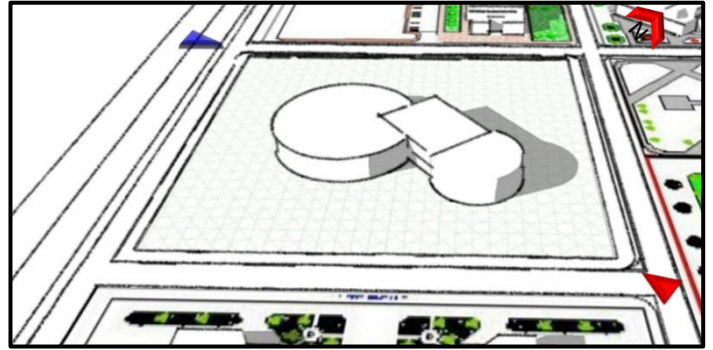


Figure IV-10 : L'articulation des cylindres.
Source : L'auteur

IV.2.2. Intégration des entités :

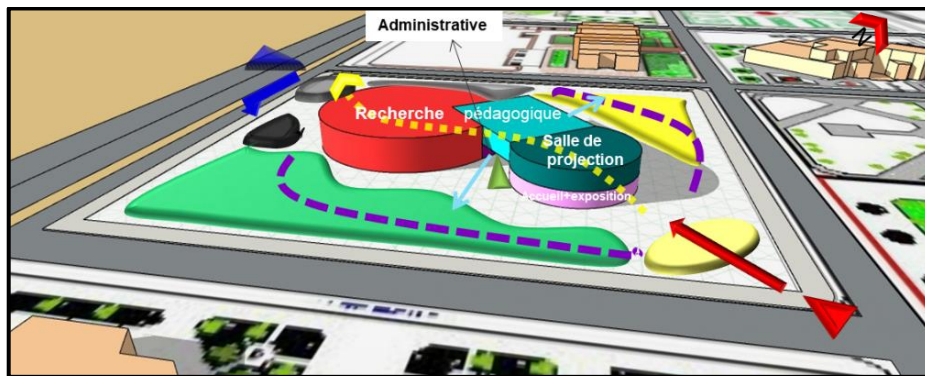


Figure IV-11 : Intégration des entités sur l'idée
Source : Auteur

IV.2.3. Développement de la forme du projet :

Etape 01 :

- Création des décrochements dans le cylindre de recherche pour représenter l'engrenage.

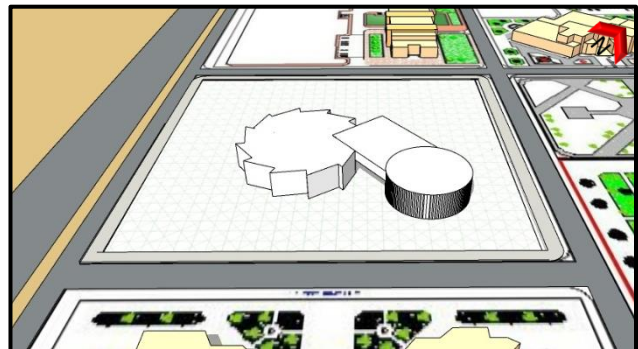


Figure IV-12 : Etape 01.
Source : Auteur

Etape 02 :

- Pivotement des engrenages du premier niveau en sens inverse dans l'étage supérieur afin d'insuffler un dynamisme à la volumétrie, inspiré du mouvement du moteur.



Figure IV-13 : Etape 02.
Source : L'auteur

Etape 03 :

- Inclinaison du volume cylindrique en saillie de 15% pour créer un porche ou auvent marquant l'entrée.

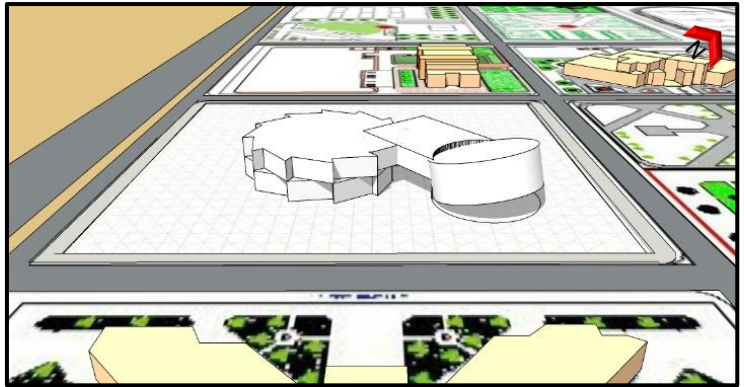


Figure IV-14 : Etape 03.
Source : l'auteur.

Etape 04 :

- Soustraction d'un quart de cylindre avec une couverture perforée pour alléger la forme et créer un accès entre les deux parallélépipèdes.
- L'ajout de deux parallélépipèdes pour former l'atelier des prototypes avec une Terrasse jardin au 1^{er} niveau et l'espace d'essai technique, faisant ainsi écho au grand parallélépipède.

■ pergola
■ Terrasse jardin

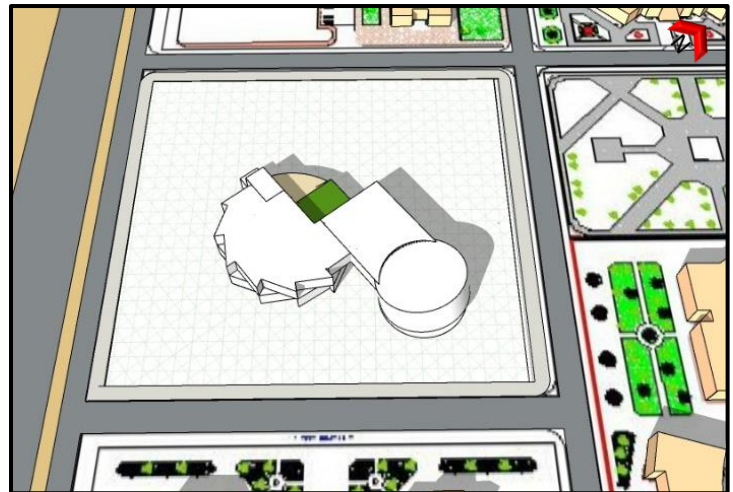


Figure IV-15 : Etape 04.
Source : l'auteur.

Etape 05 :

- L'intégration de deux atriums et un patio dans le volume cylindriques et le parallélépipède pour objectif de distribuer, d'assurer la ventilation l'éclairage et l'aération des espaces intérieurs.



Figure IV-16 : Etape 05.
Source : Auteur

IV.3. Présentation du plan de masse :

- Création de 4 passages principaux, guidés visent à orienter les occupants vers les entrées du projet par des tracés et des passages libres dans les espaces de détente.
- Restreindre la circulation mécanique vers la zone de stationnement au niveau de plan de masse
- Aménagement de la zone d'accueil extérieur avec un espace vert dégagé, en alignement des fleurs pour former une allée menant à l'entrée principale afin de valoriser et d'améliorer la visibilité de la façade principale
- La continuité formelle avec l'espace vert situé au nord est par la création des espaces de détente et de l'espace vert suivant la trame en damier.
- Création des espaces de rencontre entre la faculté de technologie et le centre par l'intégration des pergolas des espaces aménagés une cascade et un lac d'eau artificielle au sud qui contribue à humidifier l'air chaud.
- Intégrer des panneaux solaires sur le toit des bancs, pergolas, abris de détente extérieurs et parking Cela produit de l'électricité pour recharger l'éclairage



Figure IV -17 : plan de situation.

Source : L'auteur

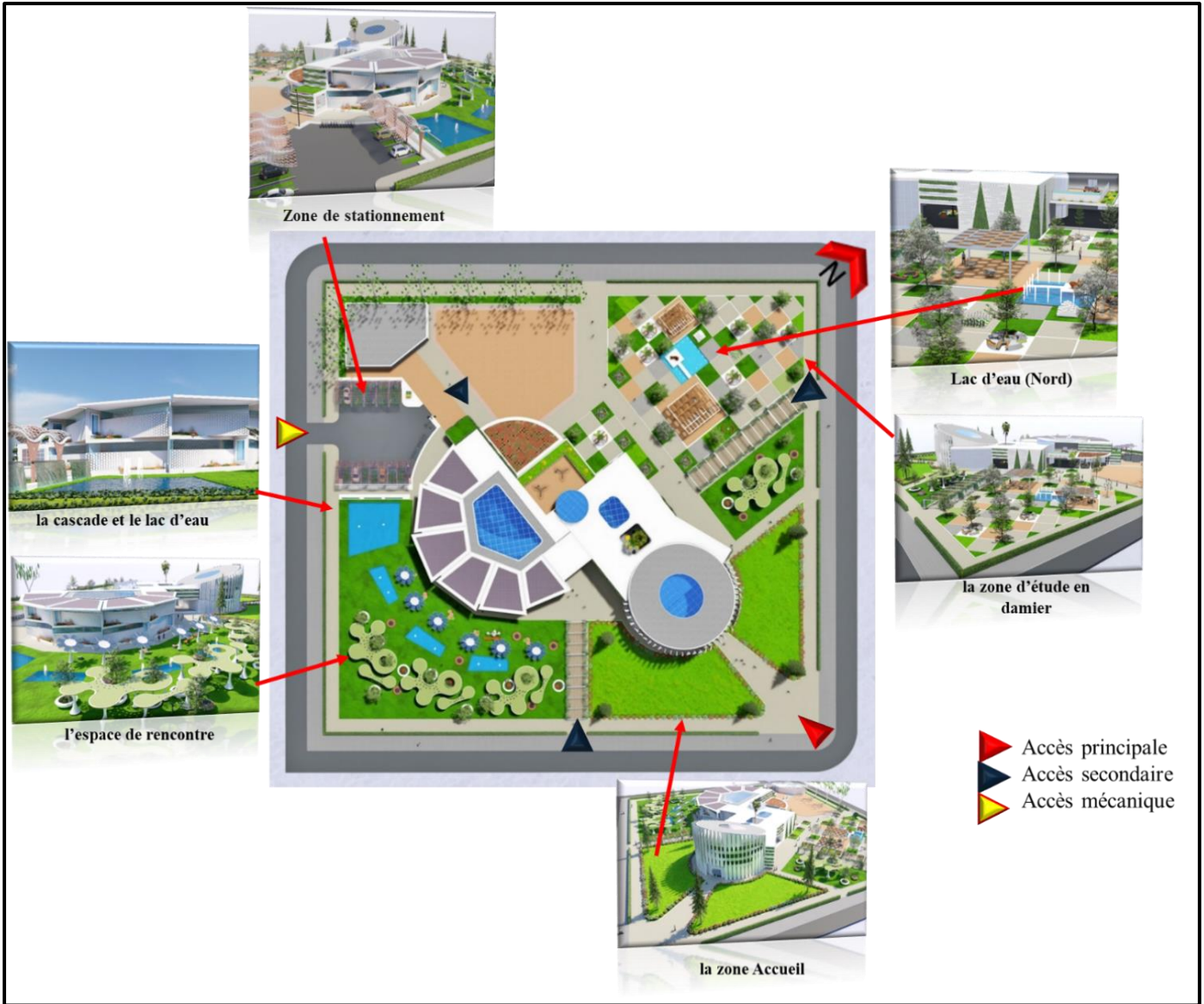


Figure IV -18 : le plan de masse

Source : L'auteur



Figure IV-19 : vue perspective sur le projet

Source : L'auteur

IV.4. Description de conception des plans intérieurs :

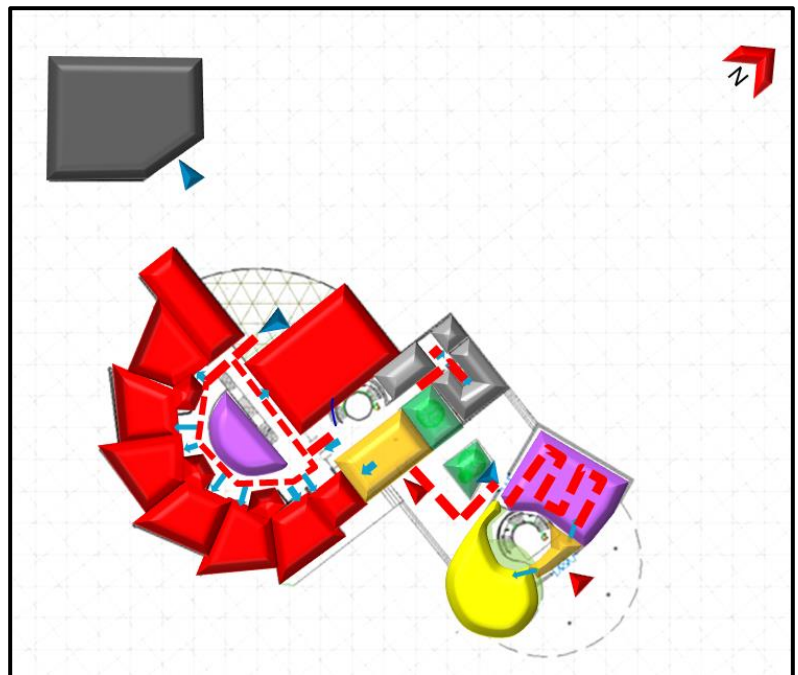
IV.4.1. Organisation du projet :

Le niveau RDC (niveau +0,50 m) : est divisé en deux parties principales :

La première partie comprend l'entité d'accueil et de réception

La deuxième partie est dédiée à l'entité de recherche avec une entrée indépendante débutant par un hall sécurisé. Cette partie inclut les laboratoires avec, les ateliers, des espaces communs (vestiaires, sanitaires). Les laboratoires sont organisés autour d'un atrium circulaire pour assurer une ventilation et un éclairage naturel. On y trouve également l'entité administrative.

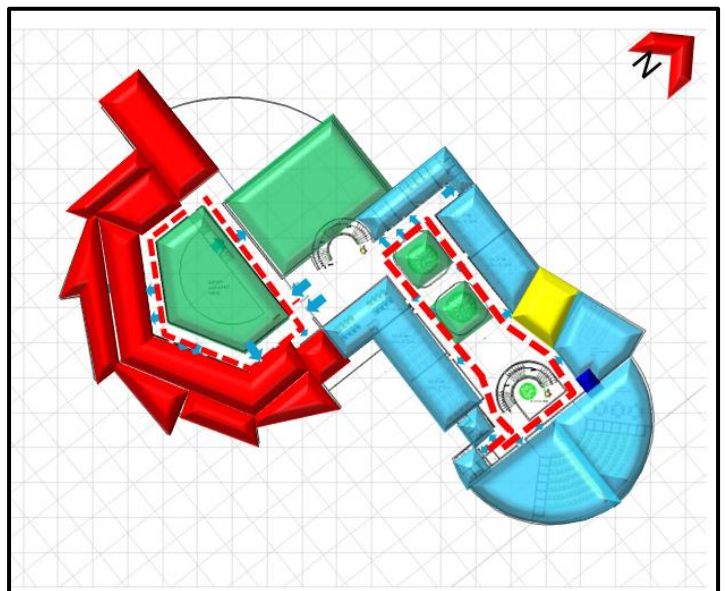
L'espace entre ces deux parties principales est dégagé au niveau du RDC pour faciliter la circulation et le flux des personnes sous le projet.



Accès principal	Circulation horizontale	Entité d'accueil	Entité de recherche	Entité administrative	Cafeteria
Accès secondaire	Circulation verticale	Entité d'exposition	Atrium, patio et Terrace	Annexe technique +stockage	

Figure IV-20 : Organisation du rez-de-chaussée - niveau +0.50m.
Source : L'auteur

Le 1er étage (niveau +4,58 m) : comprend l'entité pédagogique, qui inclut les salles de classe orientées nord-sud avec une organisation linéaire autour deux atrium rectangulaire, ainsi qu'une salle de lecture et une salle de projection, et l'entité de recherche, composée des bureaux des chercheurs et des salles de simulation plus une Terrasse jardin accessible pour chercheur .



Accès principal	Circulation horizontale	Entité de recherche	Entité pédagogique	Vide sur exposition
Accès secondaire	Circulation verticale	Entité d'exposition	Atrium et patio	

Figure IV-21 : Organisation du 2eme étage - niveau +4.59 m
Source : L'auteur

IV.4.2. La circulation intérieure :

IV.4.2.1. La Circulation horizontale :

La circulation dans le projet : Suite à la diversité des services qu'assure le fonctionnement de centre de recherche, pour un bon contrôle des circulations et une meilleure maîtrise des flux ces différentes circulations sont identifiées comme suit :

- Circulation des chercheurs.
- Circulation des étudiants.
- Circulation du personnel.

Elle est assurée par des couloirs dimensionnés de manière adéquate pour permettre une circulation fluide des robots (entité de recherche) et étudiants (entité pédagogique).

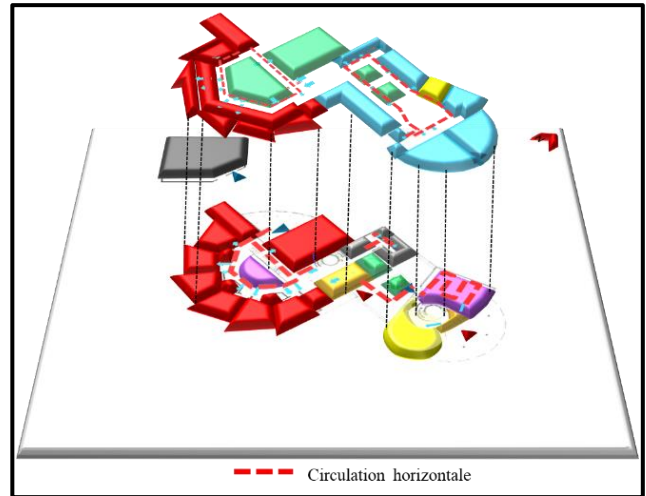


Figure IV-22 : La circulation horizontale.
Source : L'auteur.

IV.4.1.2. La Circulation Verticale :

5 escaliers deux ascenseurs des PMR sont attachés aux escaliers qui assurent la circulation verticale dans le centre de recherche.

Un escalier est situé près de l'entrée principale public, reliant l'entité d'accueil et exposition situé au rez-de-chaussée et l'entité pédagogique situé au 1er niveau .

Un escalier est situé à proximité de l'entrée de l'entité de recherche, reliant l'entité pédagogique situé au rez-de-chaussée, et le 1er et l'entité pédagogique situé au 1er niveau.

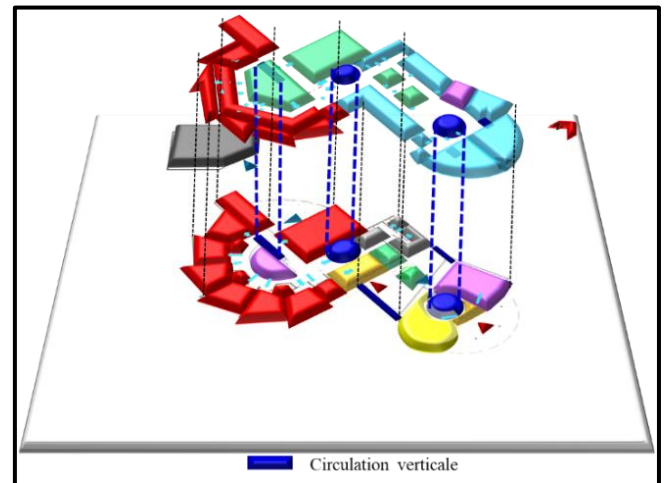


Figure IV-23 : La circulation verticale
Source : L'auteur

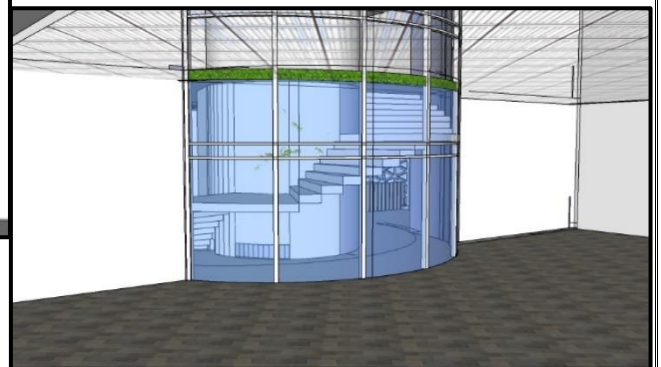


Figure IV-24 : vues sur l'escalier
Source : L'auteur

IV.5. La conception des façades :

Notre projet, s'inspire pour ses façades et son volumétrie finale du thème l'environnement, de la technologie, de l'intelligence artificielle et de la robotique des véhicules électriques.

Façade principale :

Orientée vers l'est, elle se distingue par son traitement dynamique. L'entrée principale est remarquable avec un cylindre incliné surmonté de pilotis avec une façade vitrée protégée par la végétation ensuite par des lamelles verticales dynamiques.



Figure IV-25 : façade principale Est
Source : L'auteur

Façade sud :

Façade avec un rythme des fenêtres horizontales pour l'uniformité d'éclairage et qui sont protégées par dispositifs d'occultation (auvent au niveau de la toiture)

Protection des murs par des panneaux de nuance gris métallisé avec motifs triangulaire.

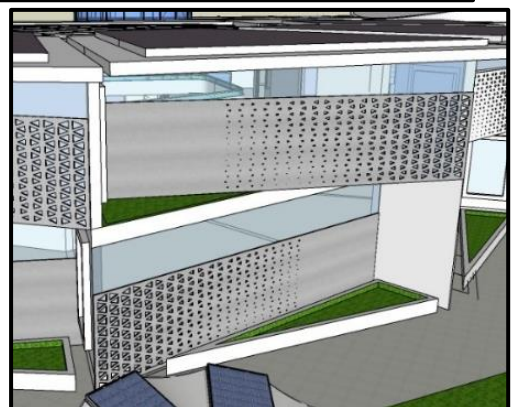


Figure IV-26 : vues sur la façade sud (entité de recherche)

Source : L'auteur

La partie des salles de classe est traité avec des éléments horizontaux ondulé en alternance avec la végétation

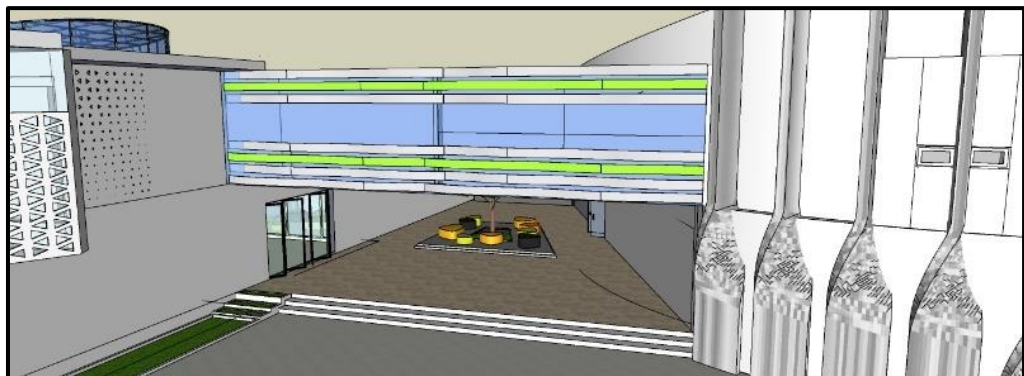


Figure IV-27 : façade sud (salle de classe)

Source : L'auteur.

Façade nord :

Façade transparente : En utilisant Un mur rideaux Sur les espaces d'exposition et la salle de lecture.

L'utilisation des panneaux perforés pour reprendre la forme des panneaux sur la façade sud



Figure IV-28 : façade nord
Source : L'auteur

Façade ouest :

Les ouvertures au niveau de cette façade sont limitées, elle est protégée avec des panneaux verticaux performé de motifs triangulaires avec l'intégration des murs végétalisés afin de diminuer l'insolation intense sur le mur



Figure IV-29 : façade ouest
Source : L'auteur

IV.6. Les ambiances intérieures :



Figure IV-30 : Vue intérieur sur le hall d'accueil sécurisé.
Source : L'auteur.

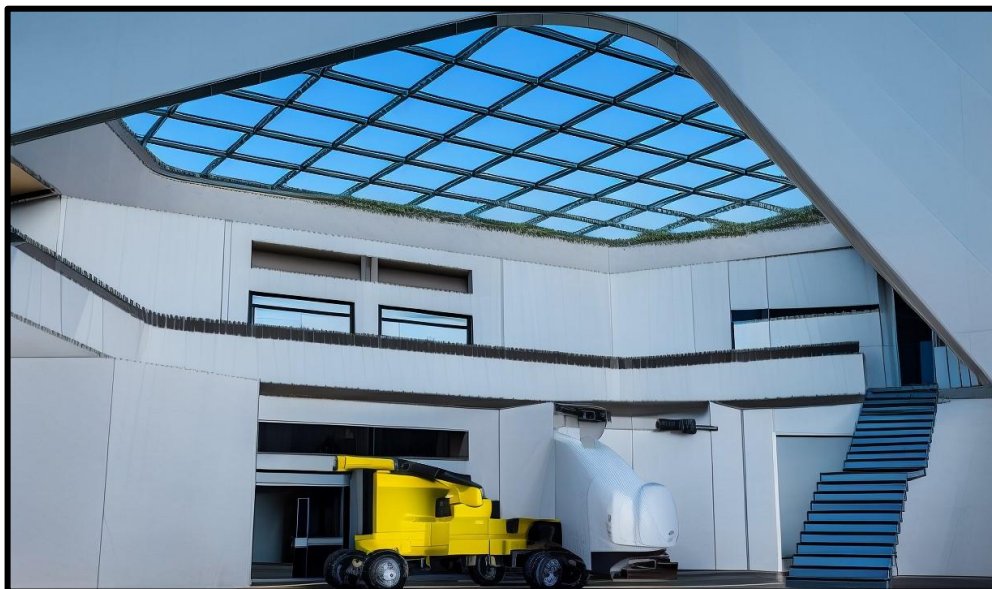


Figure IV-31 : Vue sur l'atrium (entité de recherche).
Source : L'auteur.

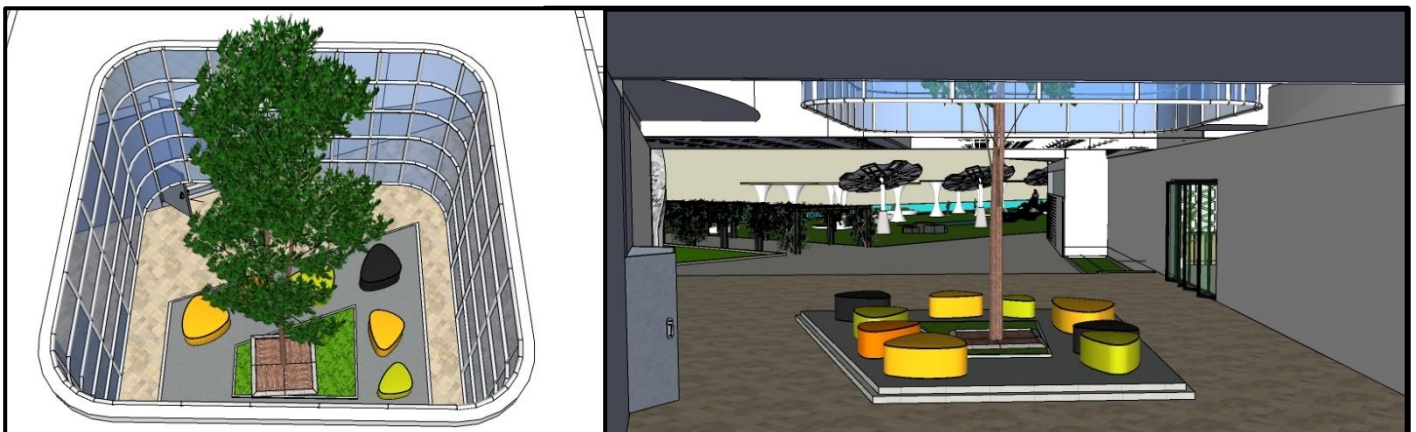


Figure IV-32 : Vue sur l'espace sous patio.
Source : L'auteur.



Figure IV-33 : Vue sur l'espace d'exposition (entité de recherche).
Source : L'auteur.



Figure IV-34 : Vue sur l'atrium (entité pédagogique)
Source : L'auteur.

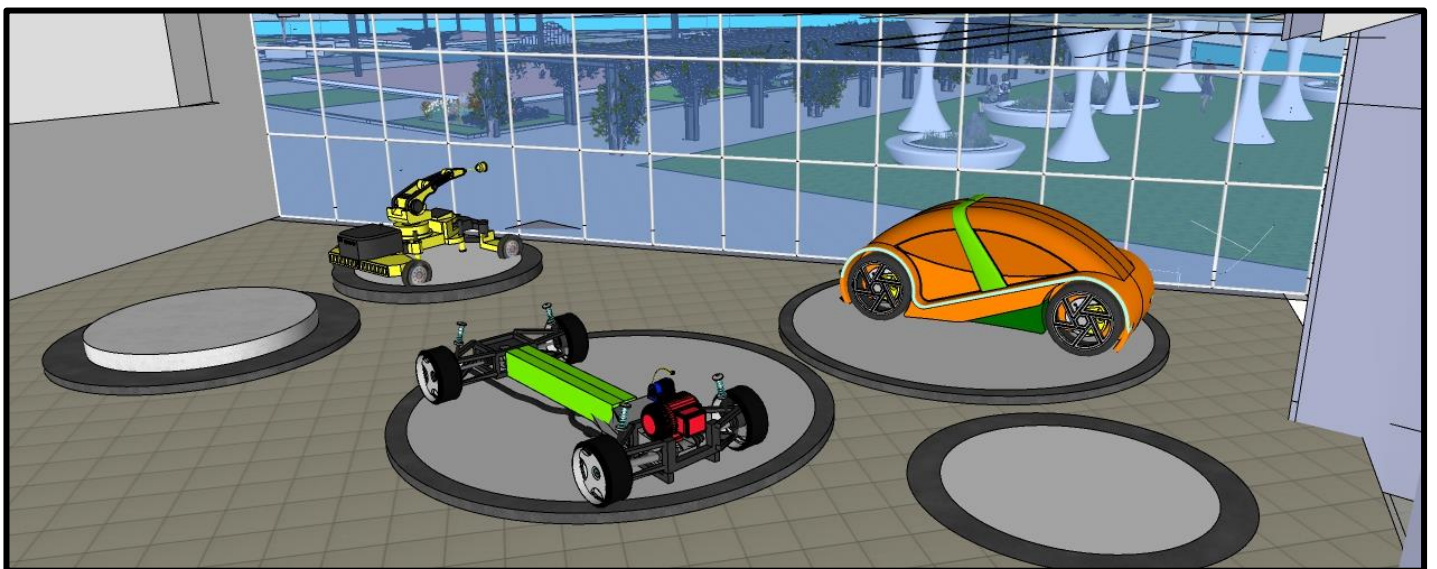


Figure IV-35 : Vue sur l'espace d'exposition public.
Source : L'auteur.



Figure IV-36 : vue sur la mezzanine
Source : L'auteur.



Figure IV-37 : vue intérieure sur bureau de recherche paysager
Source : L'auteur.

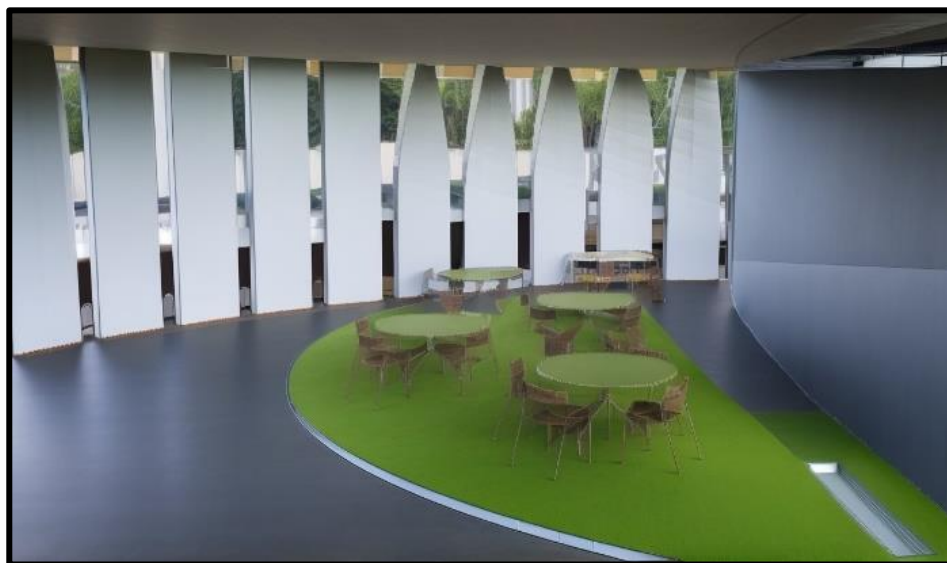


Figure IV-38 : Vue sur l'extension de cafeteria
Source : L'auteur.

CHAPITRE V : ETUDE TECHNIQUE

Introduction

Ce chapitre présente les différentes techniques de durabilité mises en œuvre dans notre projet. Nous nous sommes appuyés sur les principes de la certification LEED qui promeut une architecture écologique des bâtiments à haute performance environnementale.

V.1. Aménagement écologique des sites :

Cette catégorie évalue l'impact environnemental de la construction sur le site, en tenant compte de la réduction des déchets, de la réutilisation des matériaux et du recyclage des matériaux.

- Réduction de l'effet d'îlot de chaleur :

L'augmentation des espaces verts et les surfaces perméables :

- Terrace végétalisée :

Une toiture végétalisée est une toiture recouverte de matériaux de culture et de végétaux qui permet de prolonger la pérennité du bâtiment et son impact positif dans son environnement proche, tout en participant à l'amélioration du confort intérieur des occupants³³

La végétalisation extensive est une végétalisation légère pour des terrasses et toitures non accessibles, composée de végétaux xérophytes, tels que des sedums et des graminées qui sont résistantes aux

conditions de toiture, son épaisseur du substrat est comprise entre 7 et 10 cm.³⁴

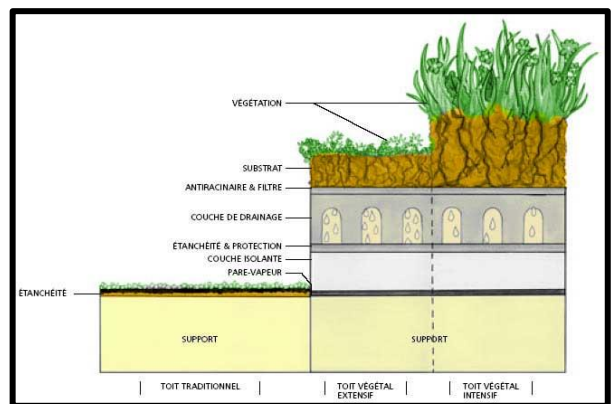


Figure V-01 : coupe d'une toiture végétalisée Source : <https://architecteo.com/>



Figure V-02 : Terrasse végétalisée (façade ouest et nord)
Source : L'auteur.



Figure V-03 : Terrasse végétalisée (façade sud)
Source : L'auteur.

³³ www.vegetalid.fr

³⁴ www.ryosphere.fr/toiture-vegetale/vegetalisation-extensive/

- Mur végétalisé :

Un mur végétalisé est un dispositif d'aménagement paysager constitué d'un support de fixation sur lequel sont cultivées des plantes³⁵

L'épaisseur d'un mur végétalisé dépend du type de système utilisé :

- Mur végétal en pot : l'épaisseur est limitée par la taille des pots
- Mur végétal sur support métallique ou bois : l'épaisseur est d'environ 10-15 cm
- Mur végétal avec substrat en pleine terre : l'épaisseur peut être plus importante

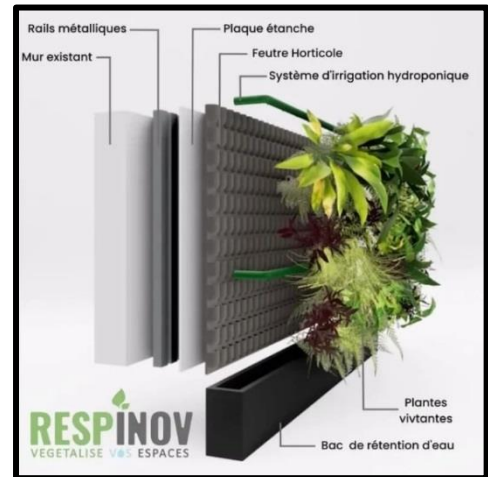


Figure V-04 : coupe d'un mur végétalisé
Source : www.respinov.com.



Figure V-05 : mur végétalisé (façade nord)
Source : L'auteur.



Figure V-06 : mur végétalisé (façade ouest)
Source : L'auteur.

- Utilisation des matériaux de revêtement de sol clairs et réfléchissants pour diminuer l'absorption de la chaleur

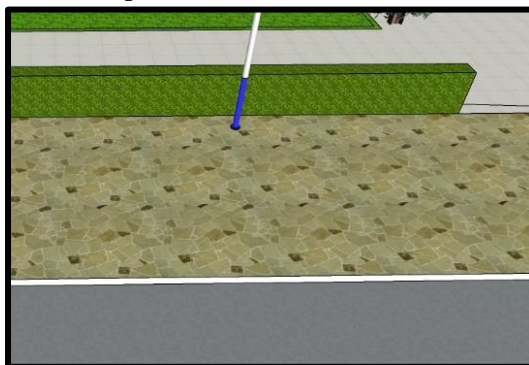


Figure V-07 : revêtement de sol en pierre reconstituée
Source : L'auteur.



Figure V-08 : Revêtements végétalisés
Source : L'auteur.

- Minimisation des surfaces imperméables par parking Végétalisé.
- Protection des parcours extérieurs : assurée par les passages couverts et débordement de la toiture dans notre projet.

³⁵ <https://www.respinov.com/le-mur-vegetal.html>



Figure V-09 : parking avec Pavé béton drainant.
Source : L'auteur.



Figure V-10 : passage couvert
Source : L'auteur.

- Réduction du nombre de places de stationnement avec différentes types (véhicule de transport-voiture-vélos)
- Gestion des déchets³⁶ :

Le système de poubelles intelligentes est un ensemble de poubelles équipées de technologies avancées pour optimiser la gestion des déchets. Voici les principales caractéristiques de ce système :

Tri automatique : Les poubelles intelligentes sont équipées de systèmes de reconnaissance d'images et de tri automatique des déchets, ce qui permet de séparer les déchets en fonction de leur nature et de leur composition.

Compactage intégré : Certaines poubelles intelligentes sont équipées de systèmes de compactage intégrés pour réduire le volume des déchets et faciliter leur collecte.

Collecte de données en temps réel : Les poubelles intelligentes peuvent collecter des données en temps réel sur l'état des déchets, telles que le niveau de remplissage, la température et la présence de déchets spécifiques.

Application client : Les poubelles intelligentes sont souvent équipées d'une application client qui permet aux utilisateurs de visualiser l'état de la poubelle et de recevoir des alertes pour ajuster leurs tournées de collecte.



Figure V-11 : poubelles intelligentes
Source : <https://www.cdise.com>.



Figure V-12 : poubelles intelligentes (parking)
Source : l'auteur.

³⁶ <https://www.techni-contact.com/produits/3210-74914459-poubelle-intelligente-tri-selectif.html>

V.2. Gestion efficace de l'eau :

Les solutions pour réduire la consommation d'eau sont les suivants :

- Utilisation des espèces des plantes adaptées au climat de Laghouat nécessitant peu d'arrosage :



Figure V-13 : espèces des plantes utilisées.

Source : L'auteur.

- Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation et les sanitaires

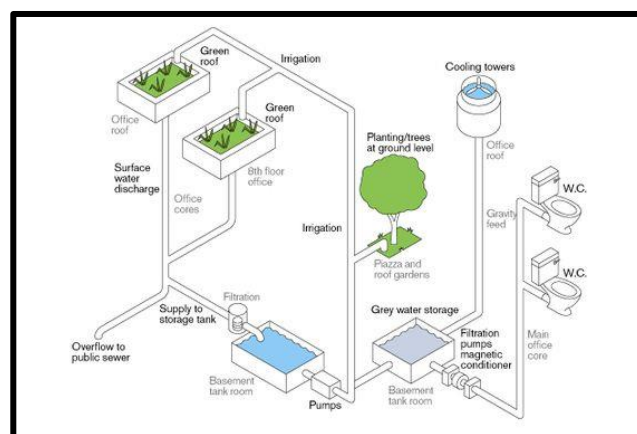


Figure V-14 : récupération des eaux usées

Source : <https://in.pinterest.com/>

- Système de détection des fuites et de réducteurs de débit ³⁷:

La détection de fuites est une technique qui permet de détecter les pertes de fluide dans un système de distribution d'eau. Elle est essentielle pour éviter les pertes de ressources et les dommages causés par les fuites

Le système est composé d'un ce détecteur intelligent, de vannes motorisées, de capteurs intelligents et d'une passerelle de communication.

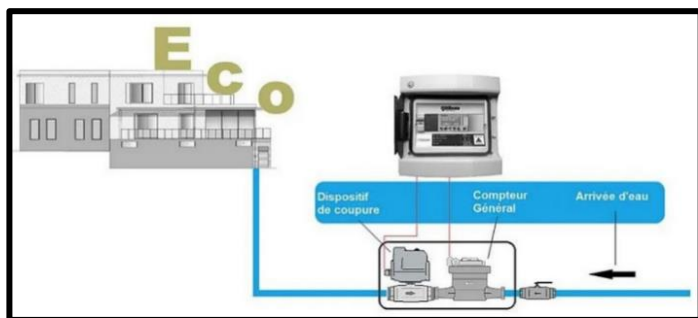


Figure V-16 : système de détection des fuites avec capteurs à câble
Source : <https://digitalconstruction.be/fr>

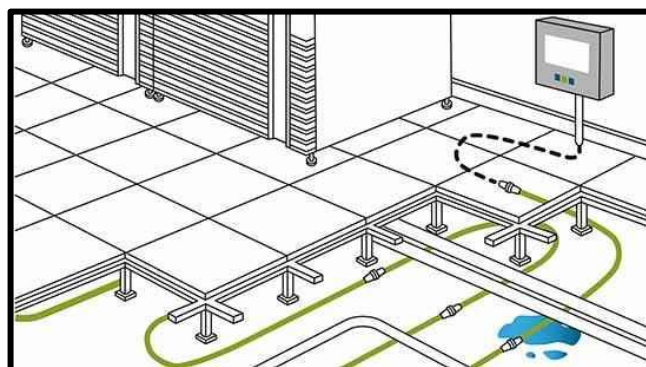


Figure V-15 : Système de détection des fuites
Source : www.willems-lucy.eu.

- Robinetterie intelligente³⁸ :

Les principales caractéristiques et avantages d'une robinetterie intelligente sont :

Économies d'eau : Les robinets intelligents peuvent permettre des économies d'eau significatives, jusqu'à 50% de la consommation annuelle, en encourageant les utilisateurs à adopter des pratiques plus économes Dès que le détecteur infrarouge détecte une main, le flux d'eau est activé sans contact. Si la main quitte le champ de détection, le robinet se ferme automatiquement.



Figure V-17 : Robinet intelligent
Source : www.manomano.fr.

³⁷ <https://www.willems-lucy.eu/product/detection-fuites-deau/>

³⁸ www.intelligenthanddryers.com

V.3. Énergie et atmosphère :

Les bâtiments doivent minimiser leur consommation d'énergie et leur empreinte carbone, en utilisant des sources d'énergie renouvelable et en améliorant l'efficacité énergétique.

- Utilisation des panneaux photovoltaïques flexibles dans la toiture de l'entité de recherche : pour générer énergie électrique



Figure V-18 : panneaux photovoltaïque flexible
Source : <https://solar-constructions.com/>



Figure V-19 : panneaux photovoltaïque flexible du projet
Source : L'auteur.

- Power plant :

Produire de l'énergie par l'énergie renouvelable (soleil et vent faible)

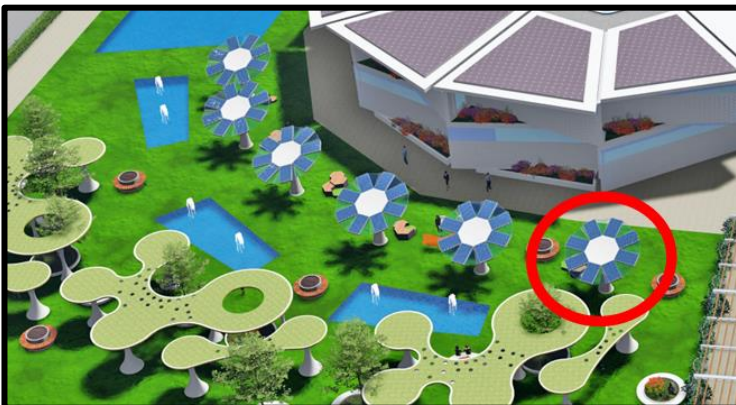


Figure V-20 : pergolas avec panneaux photovoltaïque (sud)
Source : L'auteur

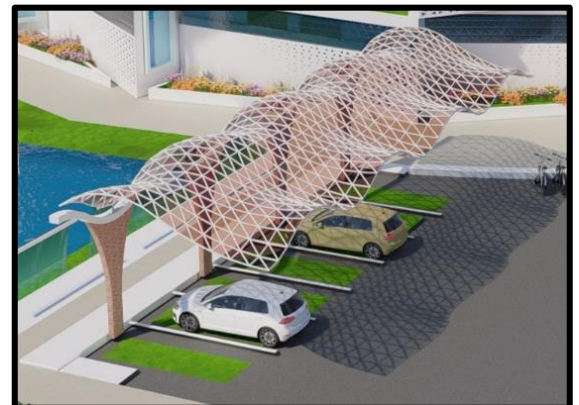


Figure V-21 : parking avec panneaux photovoltaïque
Source : L'auteur.

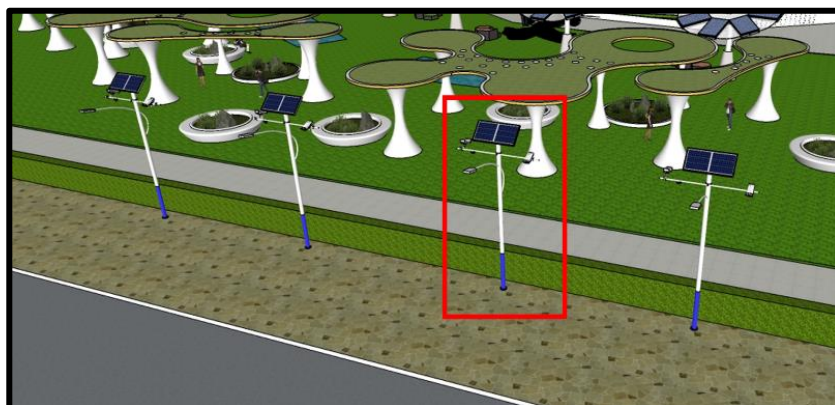


Figure V-22 : éclairage à énergie solaire
Source : l'auteur.

- Revêtement cinétique intelligent³⁹ :

Le fonctionnement d'une dalle podo-électrique pour générer de l'électricité à partir de l'énergie cinétique des passants :

Les dalles podo-électriques sont placées sur le sol, au-dessus d'un réservoir rempli d'eau et montées sur ressorts pour revenir en position initiale après le passage d'un piéton.

Lorsqu'un piéton marche sur la dalle, le poids de son corps crée une pression sur l'eau contenue dans le réservoir

Cette pression fait passer l'eau par une valve de sortie et la conduit dans un tuyau vers une turbine.

Le passage de l'eau fait tourner la turbine, qui actionne un alternateur. L'alternateur récupère l'énergie mécanique de rotation et la transforme en énergie électrique.

L'électricité produite est stockée dans des batteries, puis redistribuée pour alimenter le mobilier urbain comme les lampadaires à LED

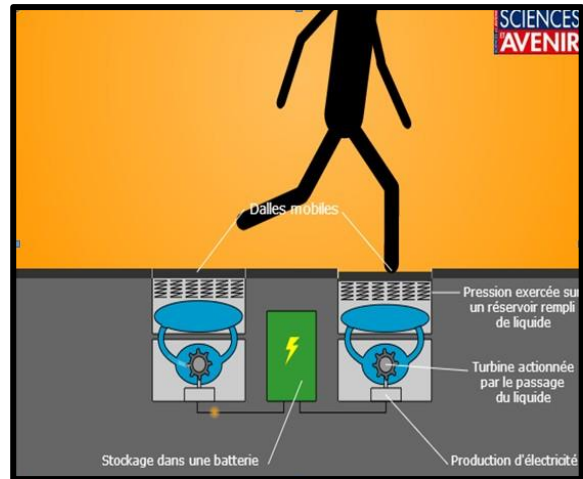


Figure V-23 : dalle podo-électrique.

Source : <https://tpedomotiqueurbaine.e-monsite.com/>

- Vitrage intelligent :

L'intégration de vitrage intelligent dans le traitement des atriums, ce qui permet de contrôler la lumière solaire, d'améliorer l'isolation acoustique et de produire de l'énergie.



Figure V-24 : vitrage intelligent des atriums et cage d'escalier.

Source : L'auteur.

- Le vitrage solaire photovoltaïque⁴⁰ :

L'intégration de vitrage intelligent dans la façade sud, ce qui permet pour produire de l'électricité à partir de la lumière solaire.

Le fonctionnement de vitrage solaire photovoltaïque :

Cellules photovoltaïques : Les cellules photovoltaïques sont placées dans le cadre .Un filtre PVB (Polybutyral vinylique) dirige les rayons solaires vers les extrémités de la vitre, où les cellules photovoltaïques les convertissent en électricité.

Filtrage des rayons solaires : Le filtre PVB permet de diriger les rayons du soleil vers le cadre, où ils sont transformés en électricité. Cela permet de produire de l'électricité naturellement à partir du spectre visible ou non visible de la lumière solaire.

³⁹ <https://penserdemain.fr>

⁴⁰ <https://mypower.engie.fr/>

Production d'électricité : Les cellules photovoltaïques produisent de l'électricité à partir de la lumière solaire. Le vitrage photovoltaïque peut produire jusqu'à 90w par mètre carré, ce qui est encore relativement faible par rapport aux panneaux solaires classiques

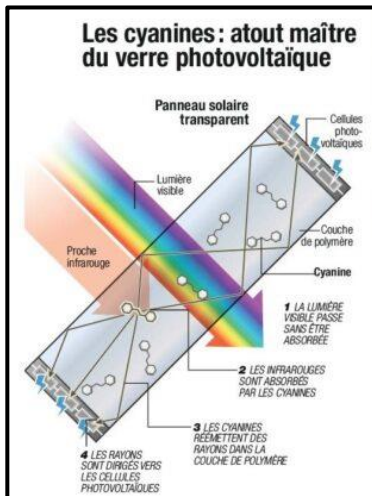


Figure V-25 : vitrage solaire photovoltaïque
Source : <https://www.science-et-vie.com>



Figure V-26 : vitrage solaire photovoltaïque (façade Sud)
Source : L'auteur

- L'Arbre à vent :

L'Arbre à vent est une éolienne innovante conçue pour exploiter les courants d'air en milieu urbain. Elle fonctionne de manière silencieuse, capturant les courants d'air turbulents qui circulent en ville, même à faible hauteur, pour produire de l'électricité

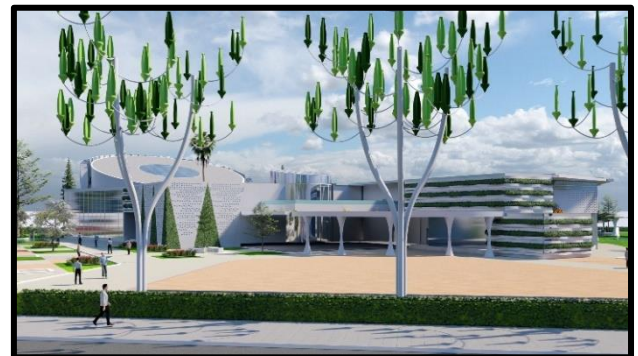


Figure V-27 : Arbre à vent (est).
Source : l'auteur.

- Refroidissement passif :

La toiture ventilée :

La toiture ventilée est utilisée au niveau de l'entité de recherche.



Figure V-28 : toiture ventilée
Source : l'auteur.

⁴¹ https://www.lexpress.fr/monde/l-arbre-a-vent-une-eolienne-pour-exploiter-les-courants-d-air-en-ville_1627442.html

- Ventilation par atrium et patio :

Les atriums : pour assurer la ventilation naturelle Transversale, ventilation par le tirage thermique et l'éclairage naturelle au différent espace.



Figure V-29 : Ventilation par atrium
Source : L'auteur

Le patio : système passif pour assurer l'éclairage naturel, le confort visuel et thermique à l'intérieur des espaces ainsi pour la ventilation naturelle



Figure V-30 : Ventilation par patio
Source : L'auteur.

- **Poutre froide :**

Les poutres froides statiques (ou passives) qui fonctionnent par simple convection naturelle. Elles sont utilisées uniquement en mode refroidissement : l'air chaud de la pièce, en contact avec la batterie froide de la poutre froide, redescend. Une convection naturelle se met alors en place dans le local.⁴²

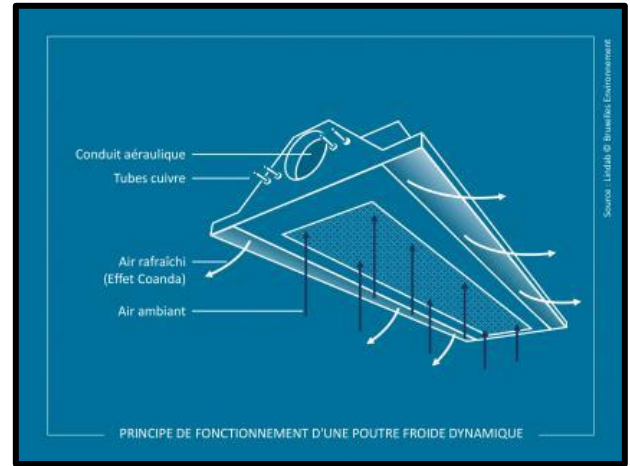


Figure V-31 : Poutre froide
Source :

- **Système puits canadiennes⁴³ :**

Le puits canadien consiste à faire passer, avant qu'il ne pénètre dans la maison, une partie de l'air neuf de renouvellement par des tuyaux enterrés dans le sol, à une profondeur de l'ordre de 1 à 2 mètres. En hiver, le sol à cette profondeur est plus chaud que la température extérieure. L'air froid est alors préchauffé lors de son passage dans ce circuit sous terrain.

En été, de la même manière, l'air passant dans les tubes enterrés récupère la fraîcheur du sol et l'introduit dans la maison, même par +30°C extérieur, l'air peut arriver entre 15 et 20°C ! Dans ce cas, le puits canadien est appelé puits provençal.

Le fonctionnement de puits canadien :

1. Une entrée d'air neuf : une bouche d'aspiration de l'air, avec une grille et un filtre.
2. Des conduits enterrés récupérateurs : un ou plusieurs tuyaux pour le passage de l'air avec une pente supérieure à 2 % pour permettre l'évacuation des condensats et ainsi éviter les risques de moisissure et d'humidité résiduelle.
3. Un regard de visite pour inspecter votre installation.
4. Un by-pass pour court-circuiter le puits canadien, à l'inter-saison. Il peut en effet être plus intéressant de prendre directement l'air extérieur sans passer par le puits canadien. C'est à cet instant qu'entre en action le relais by-pass commandé par une sonde thermique extérieure.
5. Un ventilateur pour forcer et réguler le débit de l'air à distribuer dans la maison.
6. Un système de ventilation simple flux ou double flux en fonction des besoins énergétiques de votre maison.

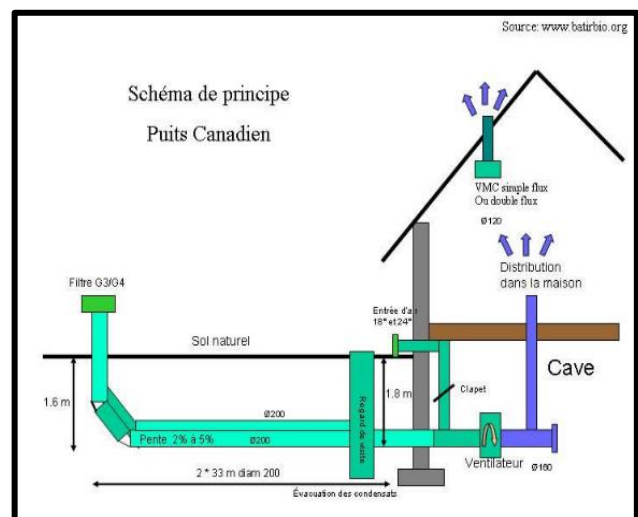


Figure V-32 : Schéma de principe de puits canadien
Source : <https://guidebatimentdurable.brussels/>

⁴² <https://guidebatimentdurable.brussels/>

⁴³ <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/puits-canadien/principe-de-fonctionnement-du-puits-canadien-aeraulique/>

V.4. La qualité de l'environnement intérieur :

Les bâtiments doivent offrir une qualité d'air intérieur confortable, une luminosité et une ergonomie optimale.

V.4.1. Confort visuel et thermique :

- Façade cinétique⁴⁴ :

Les types des façades Cinétiques :

Façades Cinétiques Contrôlées : Ces façades sont contrôlées manuellement à partir de l'intérieur du bâtiment, permettant aux occupants de réguler le mouvement des panneaux en fonction de leurs besoins

Façades Cinétiques Automatiques : Ces façades utilisent des systèmes de capteurs et d'automatisation pour ajuster le mouvement des panneaux en fonction des conditions climatiques et de l'ensoleillement.

Façades Cinétiques Responsives au Vent : Ces façades utilisent le vent pour déplacer les panneaux, créant des effets visuels naturels et fluides



Figure V-33 : Façade cinétique
Source : <https://www.alucobond-euro>



Figure V-34 : Façade cinétique automatiques (ouest).
Source : L'auteur

⁴⁴ <https://www.linkedin.com/pulse/fa%C3%A7ades-dynamiques-et-aluminium-une-synergie-gagnante-campagnoli/>

- Mur rideau :

Dans la façade nord, on a utilisé un mur-rideau avec un vitrage à faible émissivité.

Un mur-rideau en verre isolé (faible émissivité) est un système de façade de bâtiment qui combine des unités de verre isolées avec des revêtements faible émissivité pour améliorer l'efficacité énergétique, contrôler le transfert de chaleur et fournir un environnement intérieur esthétique et confortable.⁴⁵



Figure V-35 : mur-rideau
Source : <https://fintech.com>.



Figure V-36 : mur-rideau (façade nord)
Source : l'auteur.

- Brise soleil horizontale :



Figure V-37 : Brise soleil horizontale (façade sud)
Source : L'auteur

V.4.2. Confort respiratoire :

- Réduction des émissions de CO2 :

Surveillance de la qualité de l'air par des capteurs de CO2 : Les capteurs de CO2 mesurent la concentration de dioxyde de carbone (CO2) dans l'air. Les principes les plus courants pour les capteurs de CO2 sont les capteurs spectroscopiques infrarouges non dispersifs et les capteurs photo acoustiques⁴⁶

Utilisation de peintures, adhésifs, tapis et produits d'étanchéité à faible teneur en COV.

⁴⁵ <https://fr.jenesis-glass.com/>

⁴⁶ <http://www.slg-instruments.com/capteur-CO.php>

V.5. Système structurel et Matériaux :

V.5.1. Système structurel du projet :

Le choix d'une structure hybride composé d'une structure en béton armé, d'une structure métallique et d'une Structure en béton précontraint comme suit :

Structure métallique pour la partie des laboratoires et bureau de recherche car elle permet de franchir de grandes portées.

Structure en béton précontraint pour la partie cylindrique incliné

Structure portique en béton armé pour le reste du projet

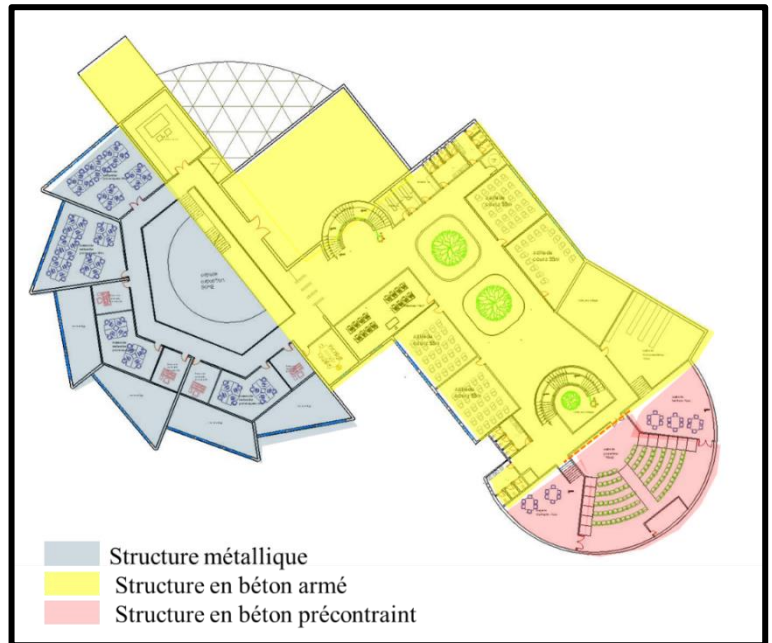


Figure V-38 : choix de système structurel

Source : auteur

V.5.1.1. Structure en béton précontraint :

La précontrainte a pour but de soumettre le béton à des contraintes Préalables de compression telles qu'une fois en service, elles s'opposent aux Contraintes de traction créées par les charges et maintiennent le béton en état de Compression.

Le béton précontraint autorise l'exécution d'éléments structuraux de faible épaisseur mais de portée importante comme les poutres et les dalles. Il permet à une poutre en béton de supporter le poids entre les piles de chaque côté sans

Précontrainte par post tension : réalisée par des armatures actives (câbles ou torons)

Mises en tension après coulage et durcissement du béton

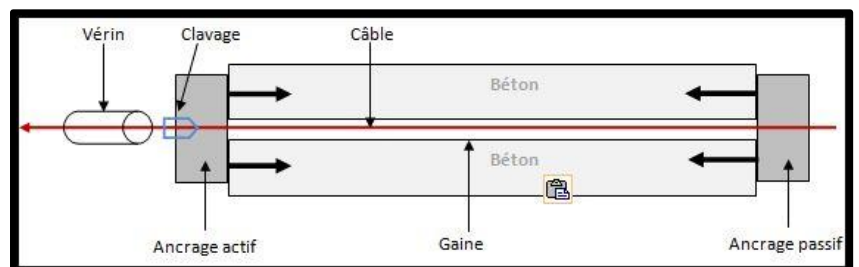


Figure V-39 : Précontrainte par post tension

Source : <https://doc.lerm.fr/>

- Etapes de mise en œuvre de la précontrainte par post tension interne :

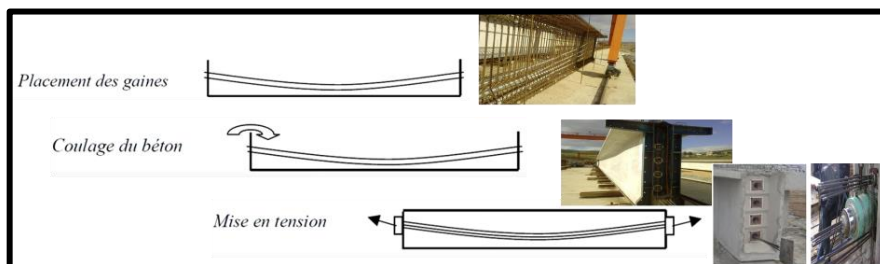


Figure V-40 : Etapes de mise en œuvre de la précontrainte par post tension interne Source : L'auteur



Figure V-41 : Vues sur la structure en béton précontraint
Source : L'auteur.

V.5.1.2. Structure mixte⁴⁷:

La structure mixte métallique avec béton fonctionne en associant des éléments métalliques (poutres, poteaux, dalles) avec des éléments en béton. Le béton est utilisé pour reprendre les efforts de compression, tandis que l'acier est utilisé pour reprendre les efforts de traction et d'effort tranchant. La connexion entre les matériaux est assurée par des goujons à tête ou d'autres connecteurs qui sont soudés ou fixés par pistolet à l'acier structural et enrobés par le béton

Les éléments de la structure mixte :

Plancher mixte⁴⁸ :

Les planchers collaborant relèvent de la construction mixte car ils combinent les caractéristiques techniques intéressantes de l'acier et du béton.

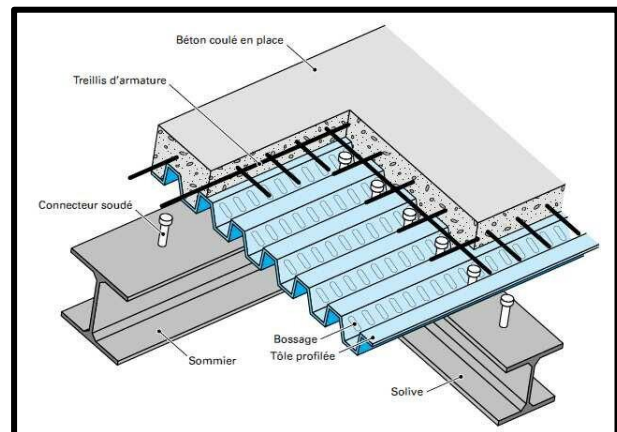


Figure V-42 : Plancher mixte à dalle collaborant.
Source : <https://www.researchgate.net/>.

Poteaux mixtes :

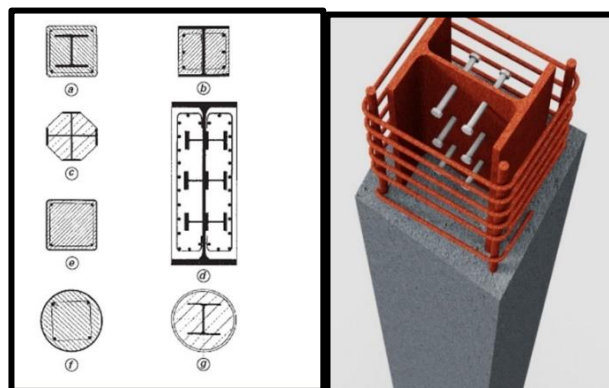


Figure V-43 : Poteaux mixte.
Source : <https://slideplayer.fr/slide/478023/>

⁴⁷ <https://fr.scribd.com/document/505699021/La-Structure-Mixte>

⁴⁸ <https://www.researchgate.net/>

Poutre mixte⁴⁹ :

- Poutres mixtes totalement enrobées de béton
- Poutres mixtes partiellement enrobées de béton
- Poutres mixtes avec profil métallique visible

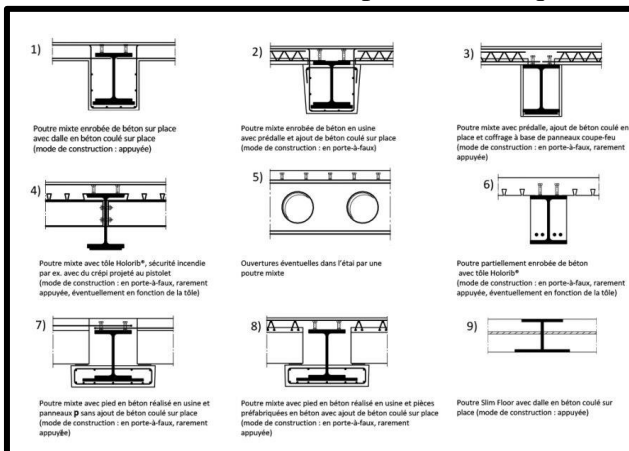


Figure V-44 : Poutre mixte. Figure Source : L'auteur



Figure V-45 : Vues sur la structure mixte. Source : L'auteur

V.5.1.4. Les joints :

Les joints dans la structure d'un bâtiment jouent un rôle pour assurer la solidité et la durabilité de l'édifice

Au sein du projet deux types de joints structurels sont mises en place :

Les joints de ruptures identifiés en rouge intégrés lors de gabarie différents et de changement de la structure.

Les joints de dilatations identifiés en bleu à intervalles de 25 à 28 mètres au niveau des structures similaires

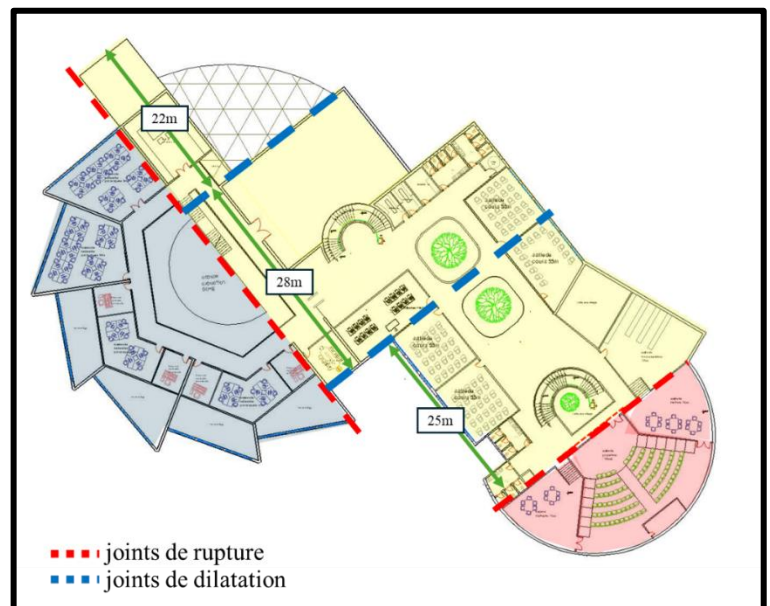


Figure V-46 : l'emplacement des joints. Source : auteur

Joints de dilatation : Il permet au béton de se dilater et de se rétracter librement en fonction des variations de température, évitant ainsi les fissures et les déformations structurelles.

⁴⁹ <http://s18324096.onlinehome-server.info/index.php/fr/poutres-mixtes.html>

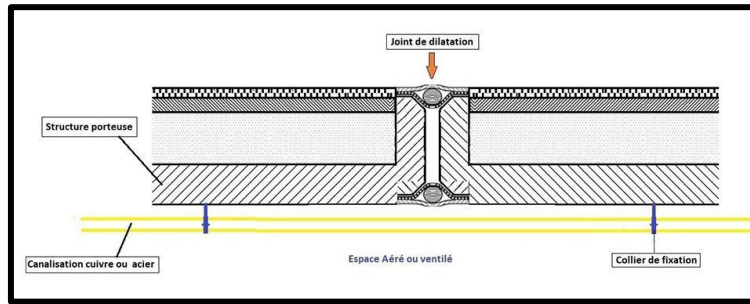


Figure V-47 : joints de dilatation

Source : <https://cegibat.grdf.fr/>

Les joints de ruptures : sont utilisés dans le cas de changement de la nature de la structure, le changement de la direction de la trame structurale et dans le cas défèrent gabarie

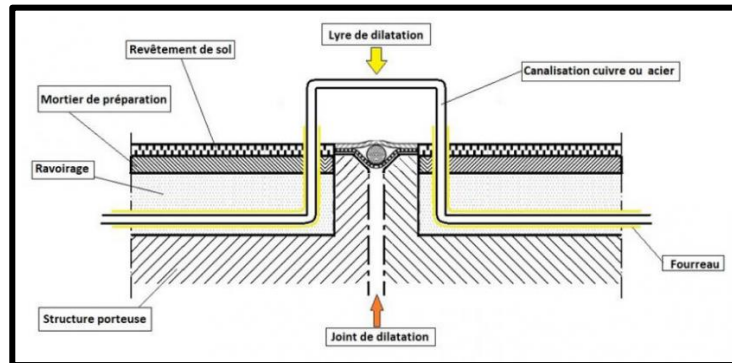


Figure V-48 : joints de rupture

Source : <https://cegibat.grdf.fr/>

V.5.2. Les Matériaux :

V.5.2.1. Béton cellulaire autoclave :

Le béton cellulaire est un matériau de construction léger et isolant, fabriqué à partir de ciment, de sable, d'eau et d'un agent moussant. Il est connu pour ses nombreuses propriétés, notamment ; l'isolation thermique et acoustique, Légèreté, Résistance au feu, Économie et écologie.



Figure V-49 : Béton cellulaire

Source : <https://www.alkern.fr/>

V.5.2.2. Parpaings isolants :

Le parpaing isolant est un matériau de construction léger et isolant, conçu pour concurrencer les matériaux traditionnels tels que la brique ou le bois. Il est spécialement destiné à édifier des murs isolants et cloisons extérieures, offrant une meilleure isolation thermique que les parpaings classiques.

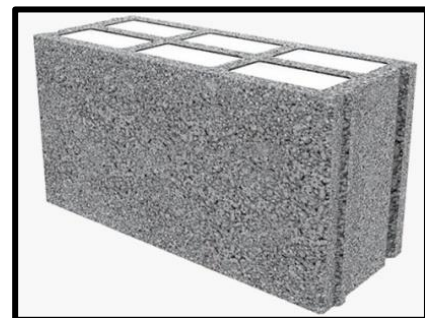


Figure V-50 : Parpaings isolants

Source : <https://www.alkern.fr/>

V.5.2.3. Revêtement régulateur de chaleur :

Le Micronal PCM est un matériau dit "à changement de phase", c'est-à-dire qui évolue en fonction de la température, ce qui permet de réguler la chaleur. A 21°C, 23°C ou 26°C selon le choix de l'utilisateur, les paraffines qu'il contient fondent, absorbant la chaleur environnante.

Lorsque la température baisse (par exemple la nuit), les paraffines se solidifient et restituent la chaleur. Il peut être utilisé pour les murs ou des plafonds par exemple.

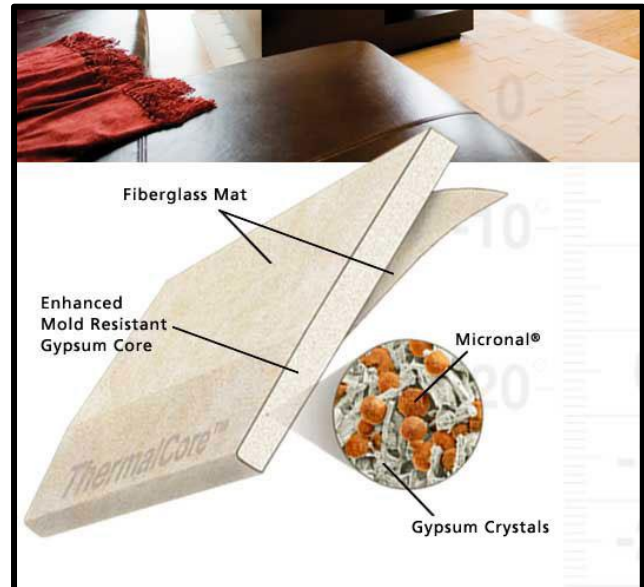


Figure V-51 : Le Micronal PCM
Source : <https://e-learning-re.blogspot.com>.

V.5.2.4. Laines végétales⁵⁰ :

Les laines végétales sont des isolants naturels et écologiques fabriqués à partir de fibres végétales, telles que le lin, le coton, le chanvre, le bambou, le soja et le tencel. Ces isolants offrent une isolation thermique et phonique comparable à d'autres isolants classiques, tout en étant plus propres et plus écologiques.



Figure V-52 : Echantillons de laines végétales
Source : <https://www.construction21.org/>

⁵⁰ <https://pause-maison.ouest-france.fr/top-isolants-ecologiques/>

CHAPITRES VI : SIMULATION NUMÉRIQUE

Introduction :

À travers ce chapitre, nous allons évaluer la performance énergétique et les conditions de confort avec des stratégies passives. Pour cela, nous allons utiliser une méthode de simulation numérique à travers laquelle nous pouvons définir quelle stratégie serait la plus efficace dans un espace de travail choisi.

VI.1. Problématique :

La conception d'espaces de travail performants énergétiquement et offrant un environnement intérieur confortable est un enjeu majeur dans les laboratoires des prototypes, avec leurs exigences spécifiques, représentent un défi particulier à relever.

Dans notre centre de recherche, nous cherchons à répondre à la question suivante :

- Quelles stratégies passives environnementales, énergétiques et techniques mettre en œuvre pour optimiser le confort thermique et la consommation énergétique ?

VI.2. Hypothèses :

- L'inertie thermique des matériaux de construction utilisés influence les variations de Température intérieure.

VI.3. Objectif de l'étude :

Objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des caractéristiques des matériaux sur le confort thermique et la performance énergétique d'un laboratoire des prototypes situé à la ville de Laghouat.

VI.4. Aspect théorique :

VI.4.1. La performance énergétique :

VI.4.1.1. La consommation énergétique :

La consommation énergétique d'un bâtiment représente l'énergie totale consommée par celui-ci pour répondre aux besoins de chauffage, de climatisation, d'éclairage, de ventilation et d'équipements divers. Cette consommation est évaluée sur une période annuelle et s'exprime en unités d'énergie, notamment en kilowattheures (kWh).

VI.4.1.2. Les paramètres de performance énergétique :

VI.4.1.2.1. Indice de la performance énergétique⁵¹ :

Un indicateur de performance énergétique (IPE) est une valeur ou mesure qui quantifie les résultats liés à l'efficacité, aux usages et aux consommations énergétiques. Il permet de suivre dans la durée l'évolution de la performance énergétique d'un système ou procédé en fonction de références définies

VI.4.1.2.2. L'intensité de la consommation d'énergie (IUE)⁵² :

L'intensité de la consommation d'énergie (IUE) pour un bâtiment est une mesure de l'efficacité énergétique de ce bâtiment. Elle est définie comme le rapport entre la consommation d'énergie

⁵¹ <https://www.greensystemes.com/actualites-du-monde-de-lenergie/les-indicateurs-de-performance-energetique/>

⁵² <https://brainboxai.com/fr/articles/intensite-energetique-la-mesure-de-l-efficacite-du-batiment>

finale et la surface habitable du bâtiment. Une IUE plus élevée signifie que le bâtiment consomme plus d'énergie pour une surface habitable donnée, tandis qu'une IUE plus faible indique une utilisation plus efficace de l'énergie.

VI.4.2. Confort thermique :⁵³

Le PPD (Percentage of People Dissatisfied) et le PMV (Predicted Mean Vote) sont deux indicateurs clés pour évaluer le confort thermique dans les bâtiments le PPD :

VI.4.2.1. L'indice de PPD (Percentage of People Dissatisfied) :

Le PPD est un "pourcentage prévisible d'insatisfaits" qui indique la proportion de personnes qui ne sont pas satisfaites de l'environnement thermique. Il est déterminé à partir de l'indice PMV et permet d'estimer le pourcentage d'individus qui éprouvent des inconforts thermiques.

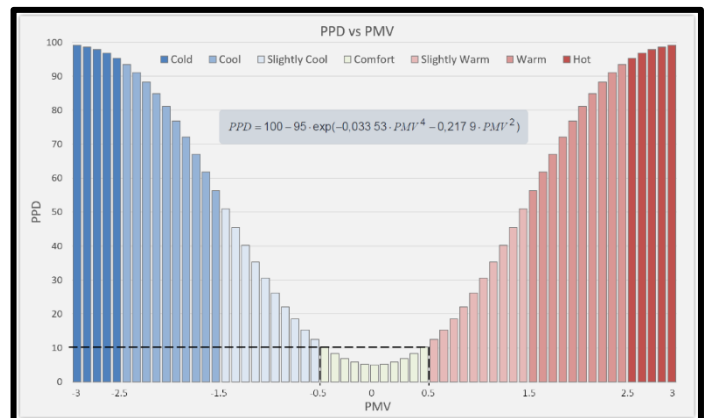


Figure VI-01 : PPD prévu par rapport au PMV
Source : <https://www.simulationhub.com/>

VI.4.2.2. L'indice de PMV (Predicted Mean Vote ou Vote Moyen Prévisible) :

L'indice PMV est un "indice de vote moyen prévisible" qui mesure le confort thermique d'une personne en fonction de plusieurs paramètres physiques, tels que la température, l'humidité, la vitesse d'air et la vitesse de circulation de l'air.

Une valeur de PMV de zéro exprime une sensation de confort thermique optimale. Une valeur de PMV négative signifie que la température est plus basse que la température idéale. Réciproquement, une valeur positive signale qu'elle est plus élevée. On considère que la zone de confort thermique s'étale de la sensation de légère fraîcheur (- 1) à la sensation de légère chaleur (+ 1), soit de -1 à + 1.

Tableau VI-01 : La sensation thermique exprimée selon l'échelle de l'ASHRAE
Source : <https://fr.scribd.com/document/413457034/Le-Confort-Thermique-2>

+3	chaud
+2	tiède
+1	légèrement tiède
0	neutre
-1	légèrement frais
-2	frais
-3	froid

VI.4.2.3. La température opérative :⁵⁴

Température ressentie par l'occupant. Elle prend en compte la température de l'air dans la zone d'occupation et les effets de rayonnement. Elle est égale à la moyenne entre la température moyenne pondérée des surfaces du local et la température de l'air.

Température opérative = (Température de l'air + Température des parois) / 2

⁵³ <https://fr.scribd.com/document/413457034/Le-Confort-Thermique-2>

⁵⁴ <https://guidebatimentdurable.brussels/glossaire/temperature-operative>

VI.4.3. Confort visuel :

VI.4.3.1. Les indicateurs de paramètre de confort visuel :

➤ Autonomie spatiale en lumière du jour (SDA) :⁵⁵

L'autonomie spatiale en lumière du jour (spatial Daylight Autonomy ou sDA) est le pourcentage des heures occupées par an, où le niveau minimum d'éclairement requis peut être assuré par la seule lumière naturelle. Un objectif raisonnable est d'arriver à un temps d'utilisation de l'éclairage naturel d'au moins 50-60 % (pour un horaire de 8h00 à 18h00).

Selon IES, les valeurs cibles pour l'autonomie spatiale sont :

- sDA (300 lx, 50 %) ≥ 55 % : valeur suffisante d'éclairage naturel.
- sDA (300 lx, 50 %) ≥ 75 % : valeur préférée d'éclairage naturel.

➤ Excès d'éclairement naturel (ASE) :

L'excès d'éclairement naturel (Annual Sunlight Exposure ou ASE) est le pourcentage de surface d'un local où le seuil d'éclairement maximal est dépassé plus d'un certain nombre d'heures par an, indiquant un risque potentiel d'éblouissement ou de surchauffe.⁵⁶

Éclairement utile à la lumière du jour (UDI) :

Il mesure le pourcentage de temps annuel pendant lequel un niveau d'éclairement naturel se situe entre 100 et 2000 lux sur un point de référence dans un bâtiment. Cet indicateur permet d'évaluer la quantité de lumière naturelle utile pour l'éclairage dans un espace donné.⁵⁷

➤ Facteur de Lumière du Jour (FLG) :⁵⁸

Le facteur de lumière du jour (FLJ) est un pourcentage qui désigne le ratio entre la lumière extérieure qui peut entrer dans le bâtiment et la lumière qui pénètre effectivement dans le bâtiment, sur un point donné (le plan de travail ou le sol)

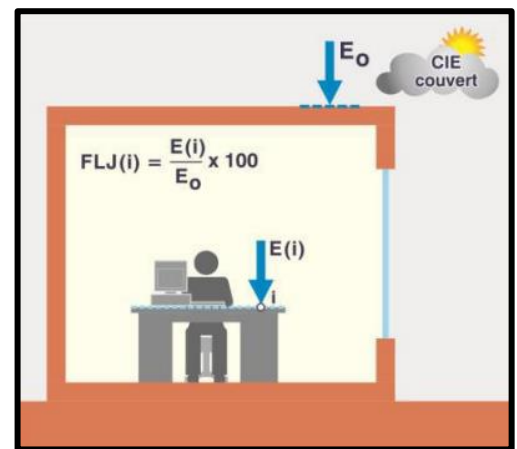


Figure VI-02 : facteur de lumière du jour (FLG).

Source : <https://energieplus-lesite.be/>.

➤ Autonomie en lumière du jour (DA) :

L'autonomie en lumière du jour (Daylight Autonomy ou DA) est le pourcentage de temps par an pendant lequel un niveau d'éclairement minimum requis est atteint par la seule lumière naturelle, sur un plan de référence donné.⁵⁹

⁵⁵ energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/autonomie-en-lumiere-du-

⁵⁶ https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_eclairage_naturel.pdf

⁵⁷ <https://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/useful-daylight-illuminance.html>

⁵⁸ <https://www.lefuturacommece.fr/blog/en-phase-avec-la-reglementation/facteur-de-lumiere-du-jour-un-indicateur-central-pour-leclairage-naturel-des-batiments/>

⁵⁹ <https://deluminaelab.com/dl-light/fr/autonomie.html>

VI.5. Aspect expérimental (simulation) :

VI.5.1. Outils de simulation utilisée :

VI.5.1.1. RHINOCEROS :

RHINOCEROS est un logiciel de conception assistée par ordinateur développé par Robert McNeel & Associates aux États-Unis en 1980, Avec des modules additionnels comme Grasshopper, Rhino offre des fonctionnalités avancées de modélisation paramétrique et la création d'agencements modulables⁶⁰

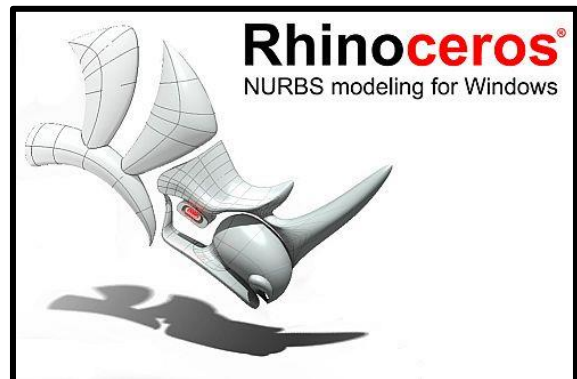


Figure VI-03 : logiciel RHINOCEROS

Source : www.heh.be/teknika/learning/TQ3MSI/rhino3D.php

VI.5.1.2. Grasshopper :

Grasshopper est une application logicielle d'algorithme graphique ou programmation visuelle conçue pour être utilisée avec Rhino.⁶¹



Figure VI-04 : Grasshopper

Source : animal-logos.com/project/grasshopper/

Les principaux plugins Grasshopper que nous avons utilisés dans la simulation sont : Ladybug et Honeybee.

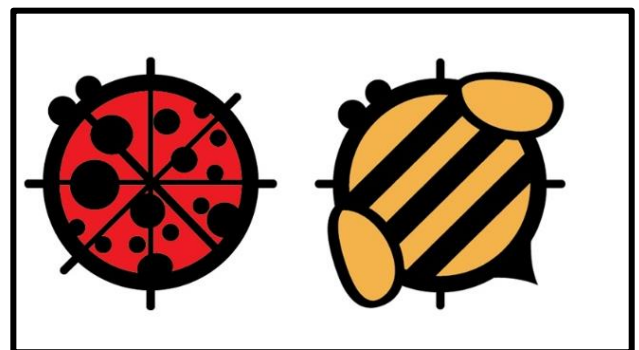


Figure VI-05 : plugin ladybug et Honeybee .

Source: parametricmonkey.com/2016/03/13/ladybug-honeybee/

⁶⁰ <https://www.rhino3d.com/fr/>

⁶¹ <https://rhinoforyou.com/grasshopper/>

VI.5.1.2.1. Ladybug :

Le plug-in Ladybug pour Grasshopper permet la visualisation et l'analyse des données météorologiques, soutenant la prise de décision aux premières étapes de la conception. Il offre des fonctionnalités telles que l'analyse solaire, l'interprétation des données climatiques, l'évaluation du confort thermique, l'analyse de l'éclairage.⁶²

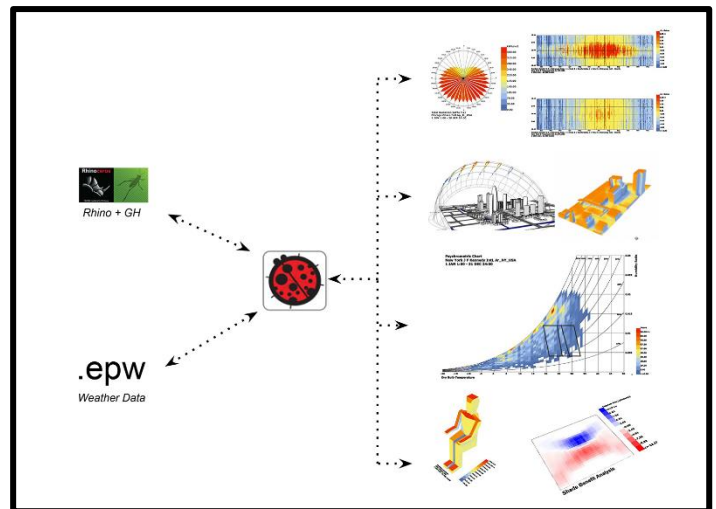


Figure VI-06 : plugin ladybug
Source : parametricmonkey.com/

VI.5.1.2.2. Honeybee :

Honeybee est un plug-in environnemental pour Grasshopper il relie Grasshopper à des moteurs de simulation pour l'analyse énergétique et l'éclairage naturel. Le nom « abeille » vient de leur capacité à récolter le nectar d'une fleur.⁶³

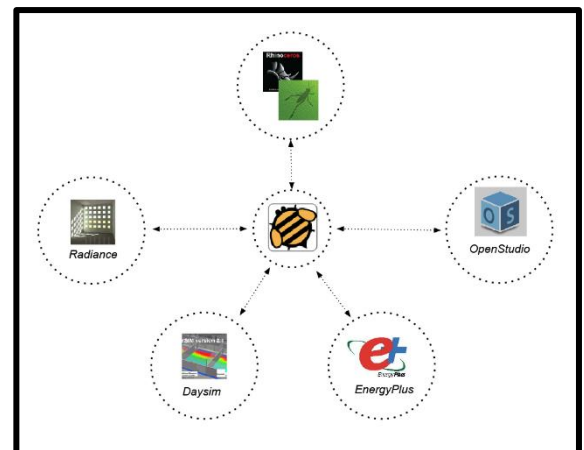


Figure VI-07: plugin Honeybee.
Source: parametricmonkey.com/2016/03/13/ladybughoneybee/

⁶² <https://rhino3d.online/en/product/ladybug>

⁶³ <https://parametricmonkey.com/2016/03/13/ladybug-honeybee/>

VI.5.2. Présentation des cas de simulation :

L'étude du niveau de confort thermique et la performance énergétique a été menée sur le cas de Laboratoire des prototypes.

Nous avons choisi le laboratoire des prototypes car il est un atelier spécialisé pour le centre de recherche en automobile électrique.

Tableau VI-08 : Les caractéristiques de l'espace simulé.

Source : l'auteur.

L'espace	Le niveau	Hauteur sous plafond (m)	Surface du plancher (m ²)	Orientation
Laboratoire des prototypes	RDC	4	240	Est / Nord

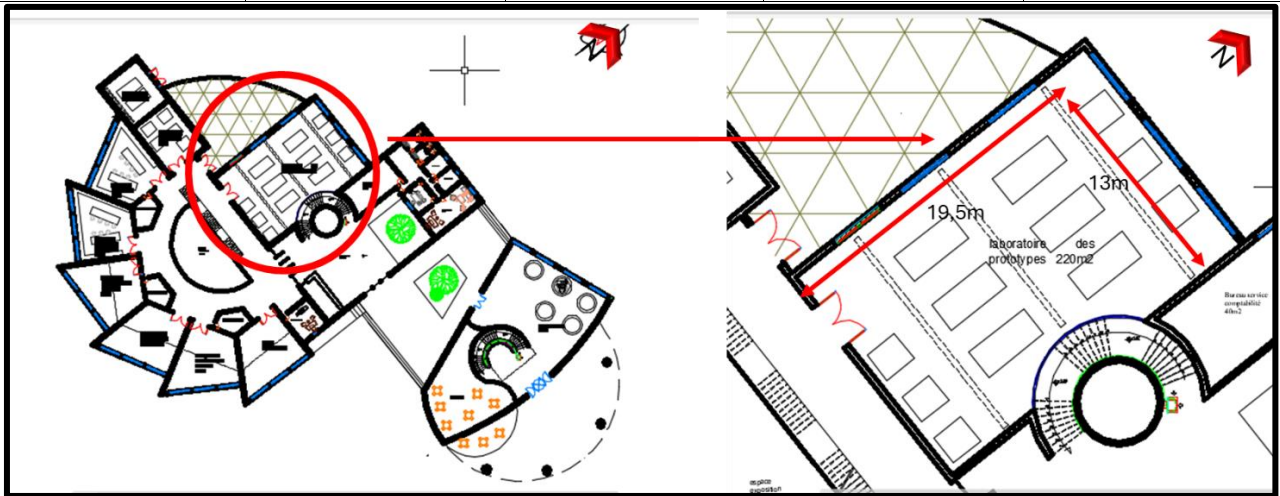


Figure VI-08 : l'espace simulé.

Source : L'auteur.

Les matériaux utilisés :

Tableau VI-03 : Caractéristique des matériaux utilisés.

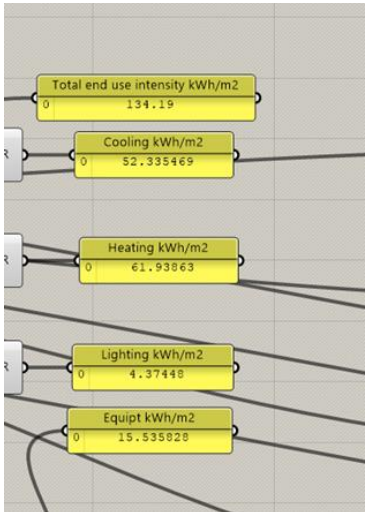
Source : Document technique réglementaire DTR C 3-2, Algérie

Matériaux	Epaisseur (m)	Conductivité (w/m. K)	Densité (Kg/m ³)	Chaleur spécifique massique (J/kg.k)
Corps creux avec isolant	0.16	0.18	2400	947
Parois extérieures				
Brique	0.15	0.44	1100	940
Lame d'air 0.05	0.05	0.25	1.28	1008
Brique	0.15	0.44	1100	940
Enduit Plâtre	0.02	1	1200	1200
Enduit ciment	0.02	1	2200	1080
Parois intérieures				
Brique	0.15	0.44	1100	940
Double vitrage	0,004	1,1	2.5	

VI.5.2.1. Résultats de la simulation du cas de base :

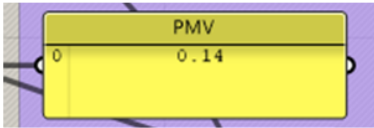
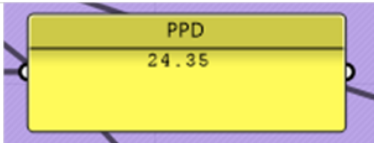
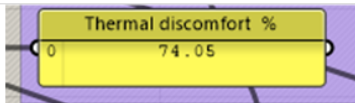
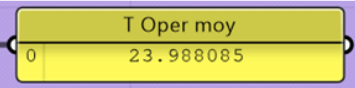
VI.5.2.1.1. La performance énergétique :

Tableau VI-04 : Résultats du cas de base de la performance énergétique avec des matériaux génériques.
Source : L'auteur

La performance énergétique	
Résultat	Interprétation
	<p>Les résultats annuels de l'intensité de consommation énergétique indiquent ce qui suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La climatisation 52.33 kWh/m². • Le chauffage 61.93 kWh/m². • L'éclairage 4.37 kWh/m². • Les équipements 15.53 kWh/m². <p>Les résultats obtenus mettent en évidence la nécessité de réduire l'intensité de consommation énergétique globale qui est 134 kWh/m².</p>

VI.5.2.1.2. Le confort thermique :

Figure VI-05 : Résultats du cas de base du confort thermique avec des matériaux génériques.
Source : L'auteur

Le confort thermique	
Résultat	Interprétation
	<p>Le PMV de 0,14 indique que le confort thermique de laboratoire est légèrement chaud par rapport à la neutralité thermique (PMV=0). Cependant, cette valeur se situe dans la plage considérée comme offrant un bon niveau de confort thermique (-1 < PMV < +1).</p>
	<p>En ce qui concerne le PPD de 24%, cela signifie que 24% des occupants du laboratoire risquent de se sentir inconfortables par rapport à la température ambiante. Cette valeur dépasse légèrement la cible de PPD inférieur à 20% recommandée pour un bon niveau de confort, mais reste en-deçà du seuil maximal de 60% mentionné.</p>
	<p>Avec un pourcentage d'inconfort des utilisateurs atteignant 74.05%, ces résultats s'avèrent insatisfaisants. Par conséquent, plusieurs stratégies seront mises en œuvre afin d'améliorer ce cas.</p>
	<p>La température opérative :23.45°C.</p>

Pour atteindre le confort thermique optimal, on doit viser un PPD inférieur à 20% et un PMV plus proche de zéro. Cela pourrait être atteint en ajustant légèrement les paramètres de chauffage, de ventilation ou de climatisation du Laboratoire.

VI.5.2.1.3. Le confort visuel :

Par curiosité scientifique, nous avons tenu à vérifier le confort visuel dans le cas de base.

D'après les résultats de simulation obtenus avec RHINO, la majeure partie de la surface du laboratoire bénéficie d'un niveau d'éclairage naturel satisfaisant. Cependant, la zone la plus éloignée des fenêtres, soit 9,76% nécessite un éclairage artificiel complémentaire. Cette zone spécifique accueille des équipements qui ne requièrent pas d'éclairage naturel direct, mais préfèrent une lumière artificielle zénithale indirecte.

Étant donné que les niveaux de confort visuel ne peuvent être davantage améliorés, Nous nous sommes concentrés sur l'optimisation de la performance énergétique et le confort thermique.

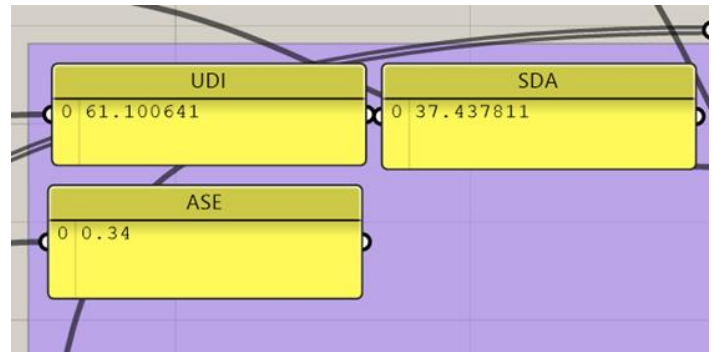


Figure VI-09 : valeur UDI, SDA, ASE
Source : L'auteur.

VI.5.2.2. Optimisation du cas de base :

Afin d'optimiser l'efficacité énergétique, le choix s'est porté sur les matériaux suivants :

Tableau VI-06 : les matériaux performants.
Source : l'auteur.

Matériaux	Caractéristique
Béton cellulaire en autoclave	
Triple vitrage clair basse Émissivité + argon	

VI.5.2.3. Résultat de la simulation :

Tableau VI-07 : Les résultats du cas optimisé avec les matériaux performants.

Source : L'auteur

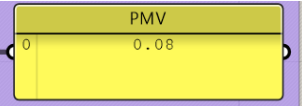
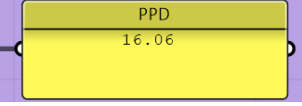
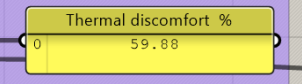
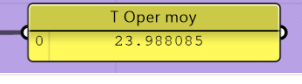
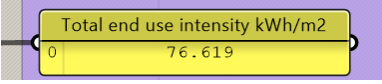
Le confort thermique	
Résultat	Interprétation
	Le PMV a été amélioré, qui affiche désormais une valeur de -0,5 proche la neutralité thermique (PMV=0) offrant un bon niveau de confort thermique
	Le PPD a été diminué à 14,24%. Cette valeur est inférieure à la cible recommandée d'un PPD inférieur à 20%, ce qui est considéré comme un bon niveau de confort thermique.
	Dans le cas amélioré, on constate une réduction des heures d'inconfort de 13,48%.
	La température opérative :23.45°C.
La performance énergétique	
Résultat	Interprétation
	Dans le cas amélioré, on observe une diminution de l'intensité de consommation énergétique annuelle, passant de 134 à 76.619(kWh/m2/an)

Tableau VI-08 : les paramètres de la corrélation optimale.

Source : l'auteur.

Indicateurs	Résultats
Heures d'inconfort	13.48
PPD	16.06
PMV	-0.08
T Opérative	23.45(°C)
L'intensité de la consommation énergétique annuelle	76.61(kWh/m2/an)

Conclusion :

D'après les résultats de simulation on remarque que les matériaux performants (le béton cellulaire autoclave et le vitrage a basse émissivité) assurent une amélioration substantielle en matière de performance énergétique d'environ 40% et une réduction des heures d'inconfort d'environ 61% sous les conditions de climat chaud et aride.

BIBLIOGRAPHIE :

- LES ÉLÉMENTS DES PROJETS DE CONSTRUCTION, Ernest Neufert 10e Edition Français.
- Traité d'Architecture & d'Urbanisme bioclimatique, Alain Liébard, André DE Herde
- energieplus-lesite.be.
- Ansar Ahmed Mounir Djebaili Imed Abd Errahmane (2017) L'efficacité énergétique dans le bâtiment architectural Mémoire de Master, architecture et durabilité architecturale
- Atrium en architecture, définition et présentation. Melissa Olivieri
- Zine Brahim « La remontée des eaux souterraines en surface : mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas d'Oued Souf) » thèse de magister en hydraulique sous la direction Pr Boudoukha Abderrahmane université El Hadj Lakhdar Batna.
- Certifications pour évaluer la qualité environnementale des bâtiments, Wilfried PILLARD, (EGF BTP) Raphaël BODET,(UNPG) Sandrine BRAYMAND (ICUBE)
- Cours Madame Baali module : la haute qualité environnementale et nouvelles techniques de construction durable, master 2.
- GUIDE A L'INTENTION DES TECHNICIENS DE TERRAIN.
- www.archdaily.com
- www.researchgate.net

CONCLUSION GENERALE

Dans un premier temps, nous avons effectué une recherche bibliographique afin d'acquérir une compréhension de notre thématique portant sur la recherche en intelligence artificielle pour la robotique des véhicules électriques et la durabilité. Ensuite, nous avons analysé des projets similaires, en termes de fonctionnalités, de programmation et de durabilité, afin d'identifier les différents systèmes et dispositifs durables pouvant être intégrés dans des centres de recherche.

Nous avons également étudié le contexte spécifique de la ville de Laghouat et du site d'implantation, afin de concevoir un centre adapté à son environnement. Cela nous a permis d'élaborer un programme quantitatif et qualitatif détaillé pour le centre.

L'étude de conception du centre a exploré l'ensemble des étapes incluses de l'état de lieu jusqu'à l'idée du projet, à la volumétrie et à l'application du programme qualitatif et quantitatif sur les plans architecturaux. En plus, cette recherche a démontré les techniques durables basées sur la certification LEED présentés dans le chapitre technique. Alors, les objectifs de ce projet consistent à lier entre les besoins programmatiques, les atouts du site, et les objectifs de durabilité. C'est pour ceci que cette étude a adopté plusieurs critères de la certification LEED pour privilégier l'efficacité énergétique en assurant un degré de confort thermique et visuel tout en utilisant moins d'énergie possible. Cette simulation numérique était effectuée dans le laboratoire des prototypes pour évaluer l'efficacité des matériaux proposés (le béton cellulaire autoclave et le vitrage à basse émissivité).

En utilisant des outils de simulation avancés, nous avons pu confirmer les hypothèses émises au début de notre projet. Au-delà des résultats obtenus, ce travail vise à mettre en lumière la ville de Laghouat comme un terrain propice à l'innovation architecturale durable.

En définitive, ce travail visait à concevoir un Centre de recherche en intelligence artificielle pour la robotique des véhicules électriques durable à Laghouat. Nous ambitionnons également que cette étude puisse servir de tremplin pour le développement de nouveaux axes de recherche interdisciplinaires dans le vaste champ de l'architecture respectueuse de l'environnement.

ANNEXES

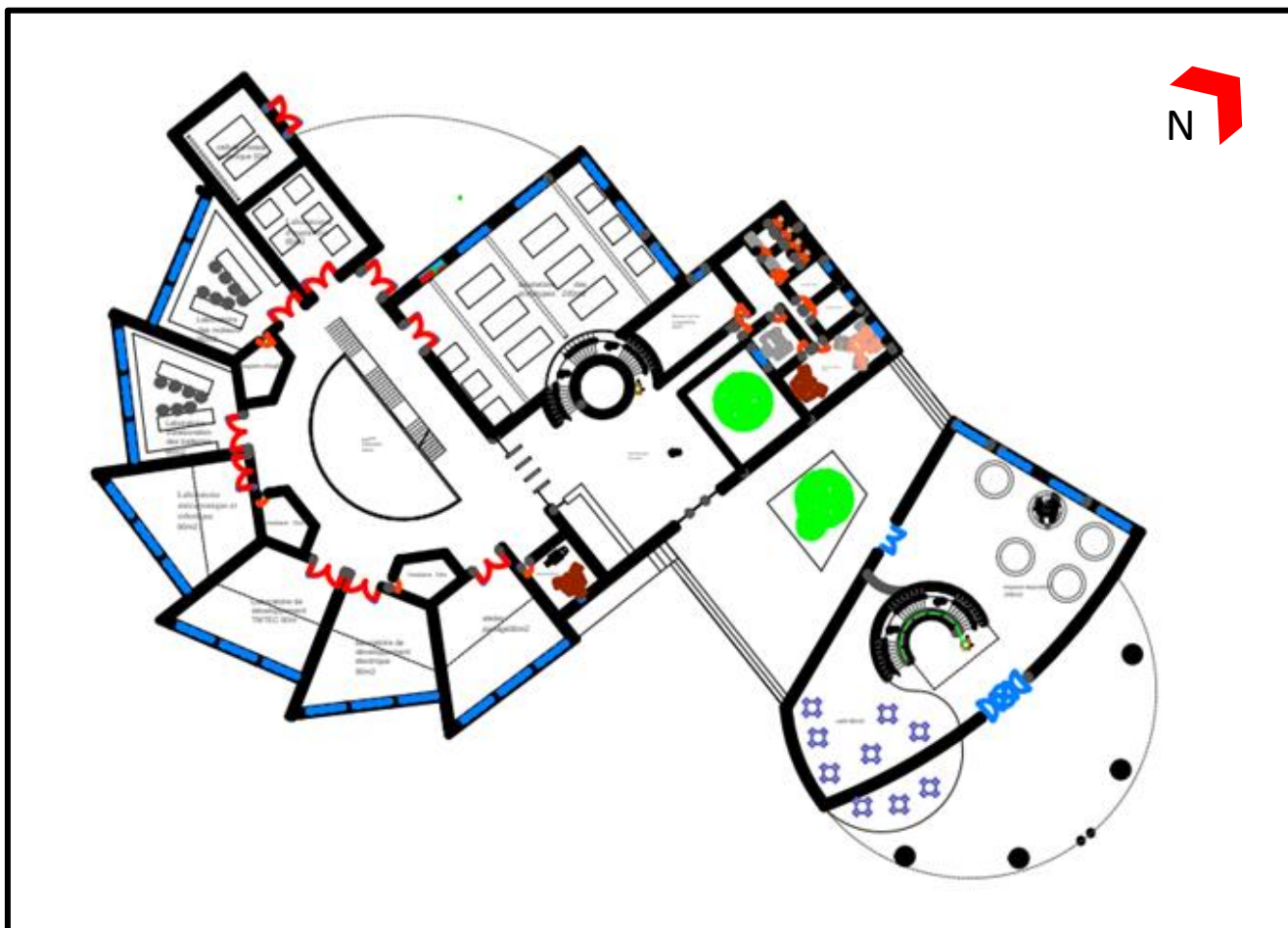


Figure 01 : plan de rez-de-chaussée - niveau +0.50m

Source : L'auteur

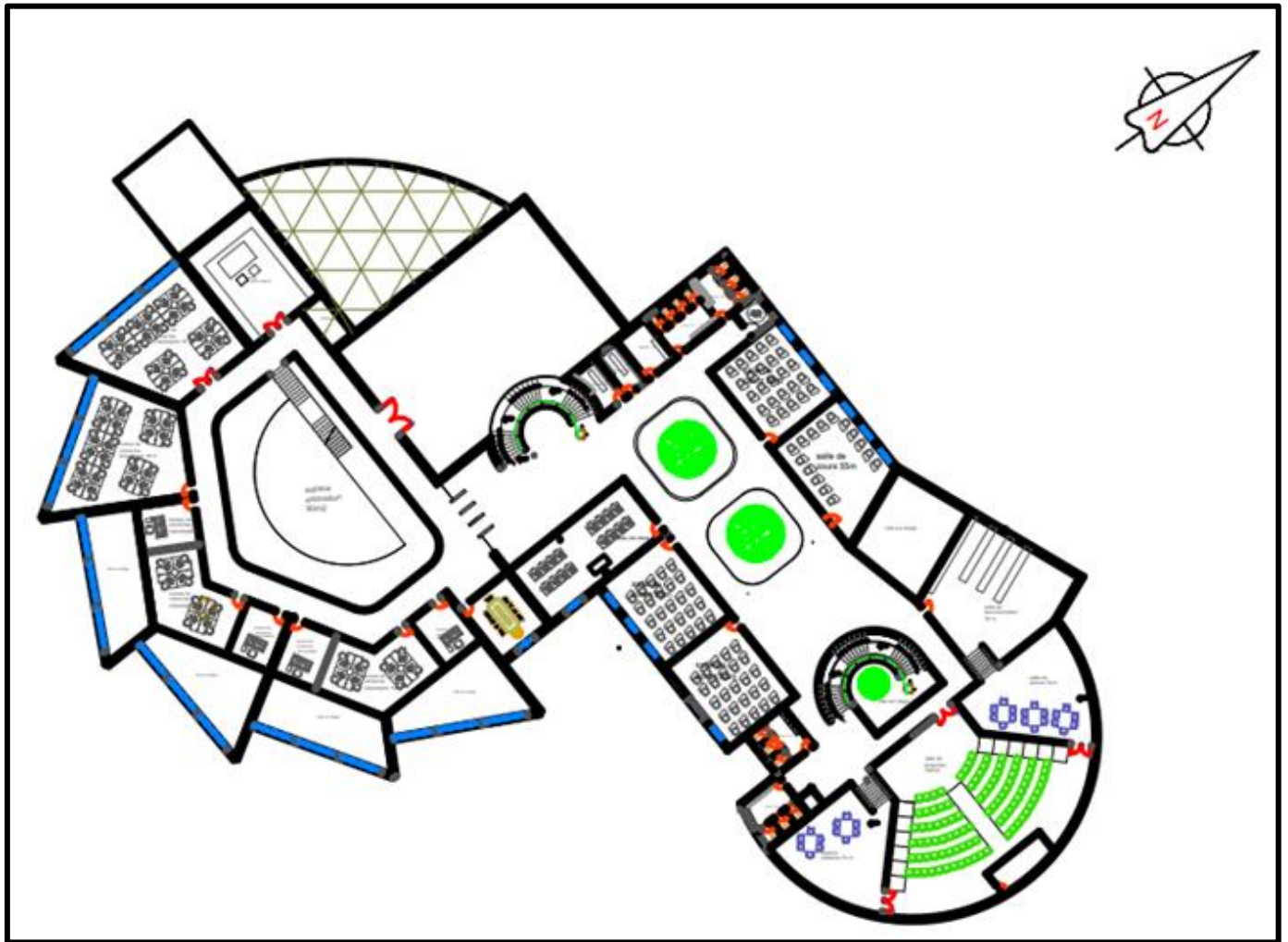


Figure 02 : plan de 2eme étage - niveau +4.59 m
Source : L'auteur



Figure 03 : vue perspective sur le projet
Source : L'auteur



Figure 04 : vue perspective sur le projet.
Source : L'auteur



Figure 05 : vue perspective sur le projet
Source : L'auteur



Figure 06 : vue sur le parking.
Source : L'auteur



Figure 07 : vue sur le parcours couvert.
Source : L'auteur.



Figure 08 : vue sur l'aménagement extérieur.
Source : L'auteur



Figure 09 : vue sur les murs végétalisés.
Source : L'auteur



Figure 10 : vue sur l'espace d'étude extérieur.
Source : L'auteur



Figure 11 : vue sur la cascade.
Source : L'auteur



Figure 12 : vue sur l'aménagement en damier
Source : L'auteur

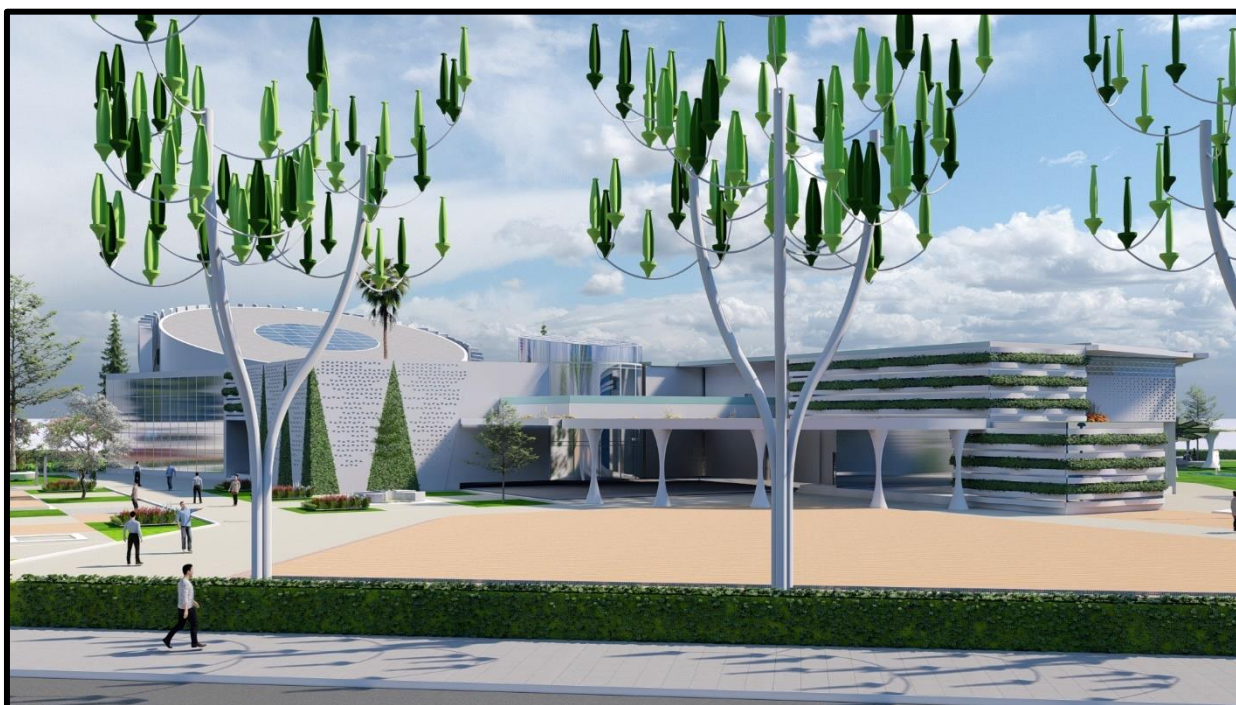


Figure 13 : vue sur la zone d'essai.
Source : L'auteur



Figure 14 : vue sur la zone de rencontre.
Source : L'auteur



Figure 15 : vue intérieure sur l'entité de recherche.
Source : L'auteur



Figure 16 : vue intérieure sur le corridor
Source : L'auteur



Figure 17: vue sur l'atrium
Source : L'auteur

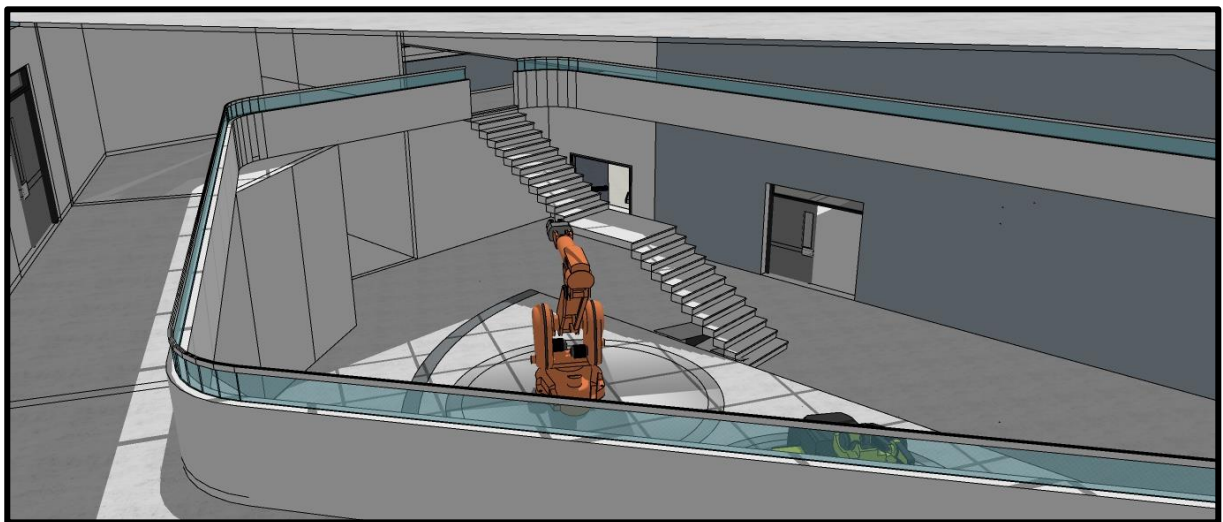


Figure 18 : vue intérieure sur l'exposition.
Source : L'auteur

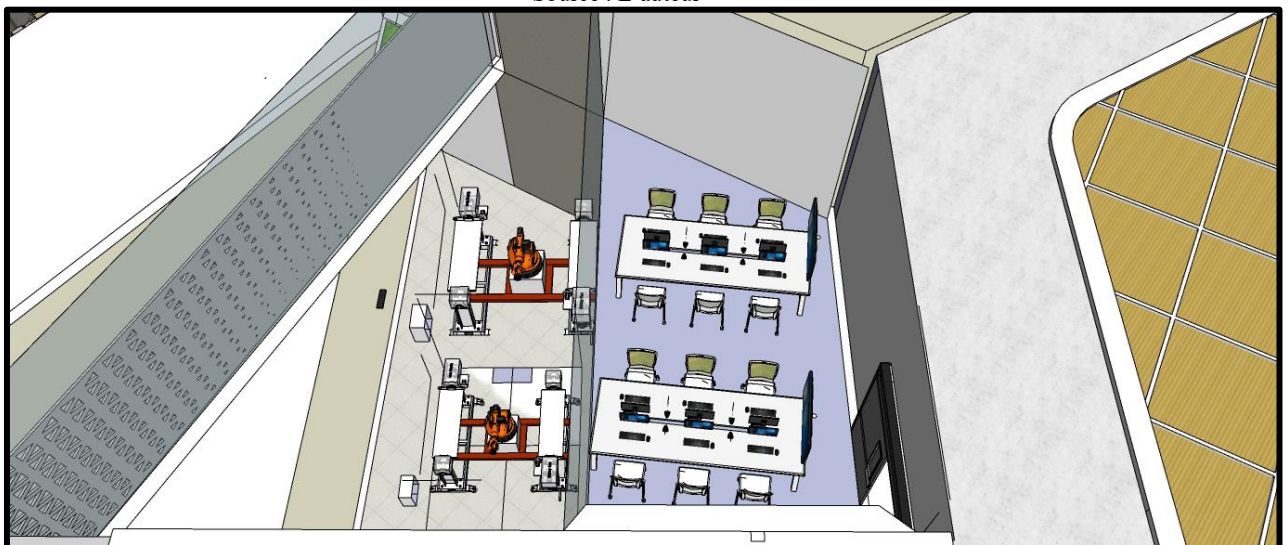


Figure 19 : vue sur la mezzanine.
Source : L'auteur

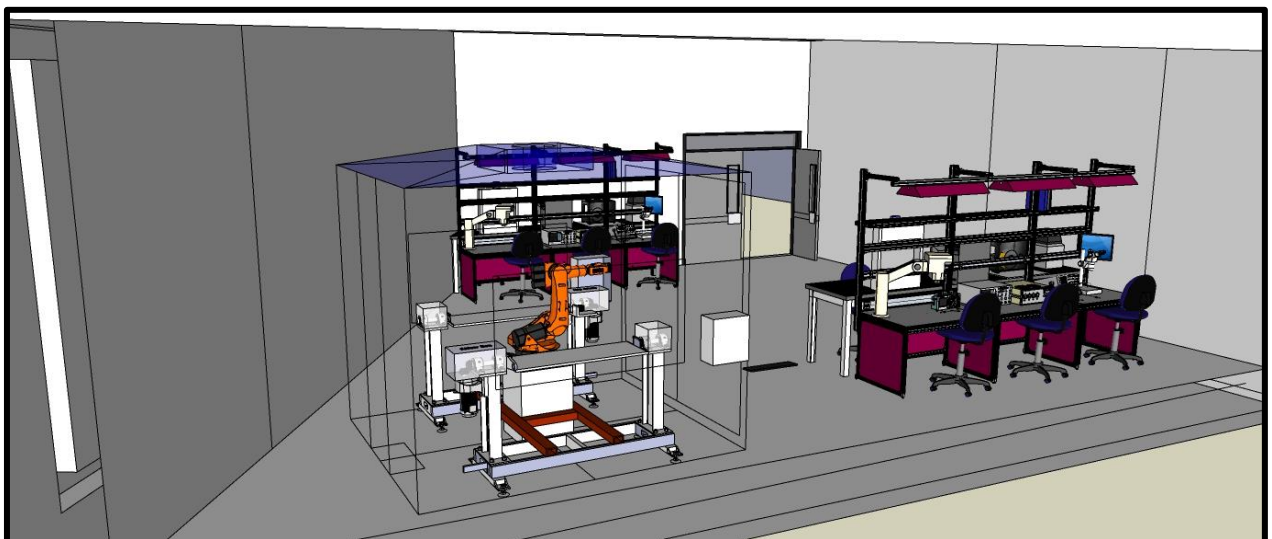
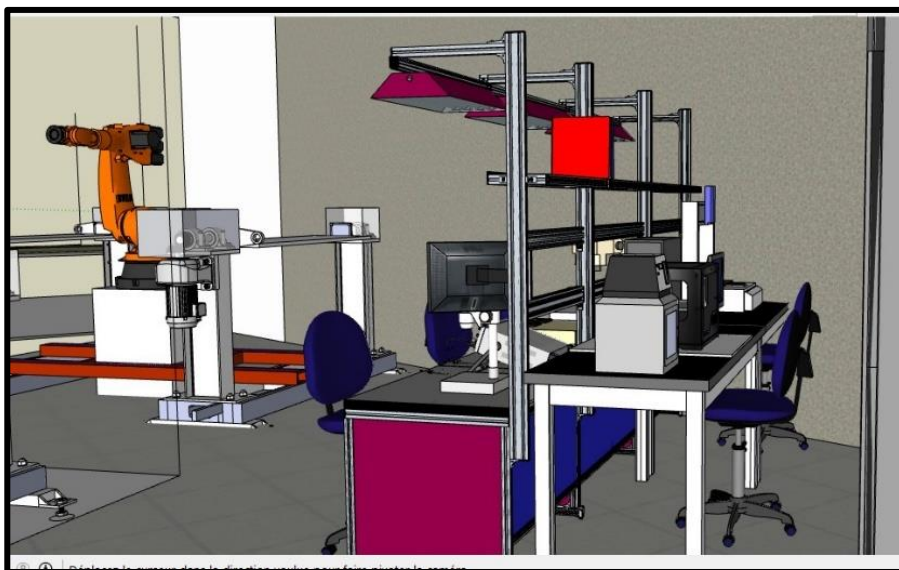


Figure 20 : Des vues sur le laboratoire.
Source : L'auteur.



Figure 21 : Vue sur les salles de classe
Source : L'auteur.