

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

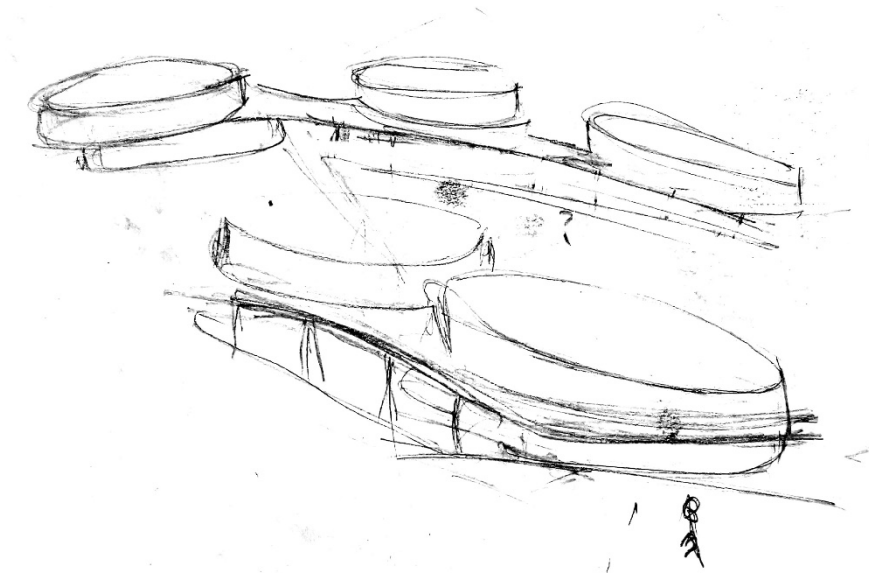
Département d'Architecture

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Architecture

Option : Architecture Environnement et Technologie

« MI Smart Incubator »

**INCUBATEUR DE STARTUPS DANS LE DOMAINE DES
MATERIAUX INTELLIGENTS A BOUMERDES**



Réalisé par :

CHABANE CELIA

CHERGUI KAMELIA

Encadré par : M. Ait Kaci

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2020 /2021

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département d'Architecture

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Architecture

Option : Architecture Environnement et Technologie

« MI Smart Incubator »

**INCUBATEUR DE STARTUPS DANS LE DOMAINE DES
MATERIAUX INTELLIGENTS A BOUMERDES**

Réalisé par :

CHABANE CELIA

CHERGUI KAMELIA

Encadré par : M. Ait Kaci

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2020 /2021

REMERCIEMENT

Tout d'abord nos remerciements vont au dieu tout puissant qui nous a donné la santé, la force et le courage de bien mener ce travail à terme.

Nous remercions nos chers parents pour leur soutien, leur patience et leur encouragement.

Nous remercions également Mr Ait Kaci pour son encadrement, son aide, sa présence et sa disponibilité. Qu'il trouve ici notre profonde reconnaissance.

Nous remercions les membres du jury de soutenance à savoir : Mr Chabi et Mme Larabi pour avoir accepté d'examiner notre travail et de nous évaluer, qu'ils trouvent ici l'expression de notre respect le plus profond.

Nous remercions également tous les enseignants du département d'architecture de Tizi-Ouzou pour nous avoir formées et accompagnées tout au long de notre cursus.

Nous adressons également nos remerciements à tout le personnel de la bibliothèque du département d'architecture.

Enfin, nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents et mes grands-parents pour leur soutien qu'ils m'ont apporté

Mes frères Ali, et Mohamed

Mes oncles, mes tantes que j'estime beaucoup

Mes cousines, et cousins

A toute la famille Chergui, Badja

A tous mes amis (es) et les personnes qui m'ont aidé.

...Mes sincères remerciements

Kamelia

DEDICACES

C'est avec un sentiment de profonde gratitude et sincère reconnaissance que je dédie ce travail à :

Mes très chers parents pour tout leur dévouement et leurs sacrifices. Aucun mot, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mon amour pour tous les efforts qu'ils ont consentis pour mon instruction et mon bien-être. Que cette réussite soit l'exaucement de vos vœux et puisse dieu, le tout puissant, vous prêter longue vie.

A mes très chères sœurs, Nassima et Yasmine, mon cher frère Anis pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral. Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'amour et l'affection que je vous porte.

A mon encadreur, Mr AIT KACI Zouhir, pour sa bienveillance, sa disponibilité sans failles et ses précieux conseils pour mener à bien ce projet. Je vous souhaite un plein succès dans vos projets futurs.

A Mme KHAZEM Selma, vous êtes l'enseignante qui m'as le plus aidé, orienté et m'as donné confiance en moi et en mes capacités, et qui a réussi à me donner l'envie d'apprendre. Merci pour tous ce que vous avez fait.

A ma chère amie sœur et binôme Kamelia avec qui j'ai partagé des moments de joie et d'autres de détresse. Je te souhaite tout le succès professionnel et personnel que tu mérites.

A mes chers cousins et cousines que j'aime tant, Melissa, Celina, Kenza, Kayene, Sofiane, Nafaa...etc.

A Hocine qui m'a beaucoup soutenu durant tout mon cursus, qui a toujours été là pour m'encourager et m'aider à avancer. Merci d'être présent.

A mes très chères amies, Sarah, Faty, Ismahene, Manel, et Maya pour leur précieuse amitié, merci d'avoir toujours été là pour me soutenir et m'encourager. Je n'oublie pas de citer Djamel, Khaled, Karim, et tant d'autres que j'ai connu grâce à l'architecture et auxquels je souhaite toute la réussite.

Enfin, à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

...Mes sincères remerciements

Celia

Résumé

L'efficacité énergétique d'un bâtiment regroupe les technologies et les pratiques permettant de diminuer la consommation d'énergie pour un niveau de performance et de confort optimal. Son amélioration dans le secteur du bâtiment représente un enjeu crucial. Inspiré de la révolution numérique, le Smart Building constitue aujourd'hui une des clés incontournables pour réussir la transition énergétique.

Mais il se trouve, que l'accès aux dispositifs permettant le développement de ce genre de bâtiment en Algérie est inexistant. C'est pour cela, nous avons réfléchi à la conception d'un incubateur de startups dans le domaine des matériaux intelligents, qui offrira des espaces d'un genre nouveau qui favorisent l'innovation, l'échange, la créativité, et l'entrepreneuriat.

Par ailleurs, plusieurs acteurs sont à l'origine de l'innovation, parmi eux les universités qui ont un rôle majeur dans l'innovation, le développement et la création à travers les enseignants, les étudiants, et les chercheurs.

Dans cette intention, le choix de notre site se situe dans la ville de Boumerdes, fréquentée par la communauté estudiantine, dans le but de favoriser la recherche et l'innovation technologique qui les aidera à créer leurs propres startups.

Mots clés : efficacité énergétique, Smart Building, matériaux intelligents, innovation, incubateur de startups, la ville de Boumerdes.

Table des matières

| | | |
|-------------|--|-----------|
| I | Introduction | 1 |
| II | Problématique générale | 3 |
| III | Problématique spécifique | 4 |
| IV | Les hypothèses | 4 |
| V | Les objectifs | 4 |
| I | PREMIER CHAPITRE : Smart building et efficacité énergétique | 6 |
| | Introduction | 6 |
| I.1 | Définition du smart building | 7 |
| I.2 | Les caractéristiques du smart building | 8 |
| I.3 | Les niveaux fondamentaux d'un smart building | 9 |
| I.4 | Les catégories du smart building | 9 |
| I.5 | Les principes d'un smart building | 10 |
| I.6 | Les composants conceptuels d'un smart building | 10 |
| I.6.1 | Les systèmes intelligents | 10 |
| I.6.2 | Les matériaux intelligents | 14 |
| I.6.3 | Les façades intelligentes | 16 |
| I.7 | Production et consommation d'énergie dans un Smart building | 19 |
| I.7.1. | Pilotage et suivi énergétique | 19 |
| I.8 | Smart Building et qualité d'usage | 20 |
| I.9 | Gestion d'un projet de Smart Building | 22 |
| I.9.1 | Acteurs et parties prenantes dans un projet de Smart Building | 22 |
| I.10 | Étapes d'un projet de smart building | 23 |
| I.11 | Importance du « Commissionnement » dans le projet du Smart Building | 24 |
| I.12 | Cout d'un Smart Building | 25 |
| I.13 | Smart Building et enjeux à venir | 25 |
| I.13.1. | De l'Internet des objets à « l'internet du tout connecté » (Internet of Everything, IoE) | 26 |
| I.13.2. | Management du Big data et du Cloud Computing | 26 |
| I.13.3. | Vers le Smart Data | 26 |
| I.13.4. | Smart grid ready | 27 |
| I.14 | Le BIM et la performance énergétique du bâtiment | 27 |

| | | |
|---------|---|-----------|
| I.14.1. | Qu'est-ce que le BIM ? _____ | 27 |
| I.14.2. | BIM et performances énergétiques du bâtiment _____ | 29 |
| | Conclusion _____ | 30 |
| | II DEUXIEME CHAPITRE : « MI Smart Incubator » _____ | 31 |
| | INCUBATEUR DE STARTUPS DANS LE DOMAINE DES MATERIAUX | |
| | INTELLIGENTS _____ | 31 |
| | Introduction _____ | 32 |
| | II.1. Qu'est-ce que les matériaux intelligents _____ | 32 |
| | II.2. De la nécessité d'innover _____ | 34 |
| II.2.1 | Qu'est-ce que l'innovation ? _____ | 34 |
| II.2.2 | Quel est le processus de l'innovation ? _____ | 34 |
| II.2.3 | Quels sont les Acteurs de l'innovation ? _____ | 35 |
| | II.3. Valorisation de la recherche universitaire _____ | 35 |
| | II.4. Des espaces physiques dédiés à l'innovation _____ | 36 |
| II.4.1. | Qu'est-ce qu'une Startup ? _____ | 36 |
| II.4.2. | Quel est le processus d'une Startup ? _____ | 36 |
| | II.5. L'union fait l'innovation _____ | 36 |
| II.5.1. | L'intelligence collective _____ | 36 |
| II.5.2. | L'interdisciplinaire _____ | 37 |
| | II.6. Un incubateur de start-up comme réponse ? _____ | 37 |
| II.6.1. | Qu'est-ce qu'un incubateur de start-up ? _____ | 37 |
| II.6.2. | À quoi sert un incubateur de start-up ? _____ | 37 |
| | II.7. Les nouveaux espaces : Tiers lieux _____ | 38 |
| II.7.1. | Définition _____ | 38 |
| II.7.2. | Exemple de Coworking : Yuanyang Express Coworking Space _____ | 40 |
| II.7.3. | Synthèse _____ | 41 |
| | II.8. Analyse d'exemples _____ | 42 |
| II.8.1. | Exemple 01 : New Orleans Bio Innovation Center (NOBIC) _____ | 42 |
| II.8.2. | Exemple 02 : Centre d'innovation UTC (Compiègne université of technology) _____ | 47 |
| II.8.3. | Exemple 03 : Media-Tic _____ | 48 |
| | Conclusion _____ | 54 |
| | III TROISIEME CHAPITRE : Etude contextuelle et climatique _____ | 58 |
| | Introduction _____ | 59 |

| | |
|--|-----------|
| III.1. Présentation de la ville de Boumerdes | 59 |
| III.2. Limites et accessibilité de la commune de Boumerdes | 59 |
| III.3. Les données naturelles | 60 |
| III.3.1. La sismicité | 60 |
| III.3.2. Topographie et hydrographie | 60 |
| III.3.3. La Végétation | 61 |
| III.4. Lecture urbaine | 61 |
| III.4.1. Les différents secteurs à l'échelle de la ville | 61 |
| III.4.2. A l'échelle du quartier : POS U10 | 63 |
| III.4.3. A l'échelle de l'assiette d'intervention | 66 |
| III.5. Analyse bioclimatique du site d'intervention | 67 |
| III.5.1. Temperature | 67 |
| III.5.2. Humidité | 68 |
| III.5.3. Les vents | 69 |
| III.5.4. La rose des vents | 69 |
| III.5.5. Les précipitations | 70 |
| III.6. DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE DE GIVONI | 70 |
| III.6.1. Présentation | 70 |
| III.6.2. Lecture et interprétation du diagramme psychrométrique | 72 |
| III.6.3. Synthèse | 73 |
| III.7. Ensoleillement | 74 |
| III.7.1. Méthode d'analyse | 74 |
| III.7.2. Profil d'ensoleillement de l'assiette d'intervention | 74 |
| III.7.3. Le diagramme solaire (stéréographique) | 75 |
| III.8. AMBIANCES ET MICROCLIMAT | 77 |
| Conclusion | 78 |
| IV QUATRIEME CHAPITRE : Chapitre architectural | 79 |
| IV.1. Le projet, sa forme et son architecture | 80 |
| IV.2. Idéation | 80 |
| IV.3. Conceptualisation | 80 |
| IV.4. Matérialisation : Des concepts à la forme, concrétisation du projet | 81 |
| IV.5. Description du projet | 83 |
| IV.6. Aménagement extérieur | 84 |

| | |
|---|------------|
| IV.7. Lecture des façades | 88 |
| IV.8. Organisation fonctionnelle | 90 |
| Plan du rez-de-chaussée | 90 |
| IV.9. ASPECT BIOCLIMATIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE | 93 |
| IV.9.1. Forme et organisation | 93 |
| IV.9.2. Effet de la Végétation sur les différents conforts | 94 |
| IV.9.3. Rafraichissement passif par ventilation naturel | 95 |
| IV.9.4. Stratégie d'été basée sur le rafraichissement passif par la ventilation naturelle | 96 |
| IV.9.5. Stratégie d'hiver basé sur le chauffage passif | 96 |
| IV.9.6. Le zoning thermique | 97 |
| IV.9.7. Dispositifs bioclimatiques actifs | 97 |
| IV.9.7.4. VMC double flux | 99 |
| IV.9.8. Les systèmes de gestion du bâtiment | 102 |
| IV.9.9. Parois et matériaux | 102 |
| IV.9.10. Système constructif | 107 |
| Conclusion | 110 |
| <i>Conclusion générale</i> | <i>111</i> |
| ANNEXES | 117 |

Liste des figures

| | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------|----|
| Figure 1: Bâtiment intelligent et ses composantes..... | 8 | | |
| Figure 2: Gestion de l'ensemble des disciplines du bâtiment..... | 9 | | |
| Figure 3: Les principes d'un smart building..... | 10 | | |
| Figure 4: champ couvert par la domotique..... | 10 | | |
| Figure 5: Principe du fonctionnement de la domotique..... | 11 | | |
| Figure 6: Service offerts par la domotique dans l'habitat..... | 11 | | |
| Figure 7: système de la GTC..... | 12 | | |
| Figure 8: Système de la GTB..... | 12 | | |
| Figure 9: Les trois couches indépendantes d'un SB..... | 13 | | |
| Figure 10: Bureau le 225 à Dijon..... | 13 | | |
| Figure 11: Béton translucide..... | 16 | | |
| Figure 12: ciment intelligent..... | 16 | | |
| Figure 13: Façade a double peau | Figure 14: Façade shaft-box | Figure15: Façade corridor..... | 18 |
| Figure 16: façade du bâtiment Greenpix, qui éclaire le soir de différentes couleurs..... | 18 | | |
| Figure 17: Modèle pour une façade dynamique..... | 18 | | |
| Figure 18: Façade solaire..... | 19 | | |
| Figure 19: Les niveaux de consommation d'Energie..... | 19 | | |
| Figure 20: Acteurs et parties prenantes dans un projet de smart building..... | 23 | | |
| Figure 21: Répartition des couts dans un projet de Smart building..... | 25 | | |
| Figure 22: Ecosystème du bâtiment intelligent..... | 25 | | |
| Figure 23: L'internet du tout connecté..... | 26 | | |
| Figure 24: Le BIM est un travail collaboratif..... | 27 | | |
| Figure 25: Le BIM et la maquette numérique..... | 29 | | |
| Figure 26 : processus d'innovation..... | 34 | | |
| Figure 27: Mettre les acteurs de l'innovation en relation..... | 35 | | |
| Figure 28: Structure de proximité : monde universitaire/ monde professionnel..... | 35 | | |
| Figure 29: processus d'une startup..... | 36 | | |
| Figure 30: Le brainstorming..... | 37 | | |
| Figure 31: rôle de l'incubation..... | 37 | | |
| Figure 32: Recette d'un tiers lieu..... | 38 | | |
| Figure 33: Vue intérieure du coworking We+..... | 40 | | |
| Figure 34: Axonométrie du RDC..... | 40 | | |
| Figure 35:Plan du RDC..... | 40 | | |
| Figure 36: Vue intérieure du coworking We+..... | 41 | | |
| Figure 37: Vue intérieure du coworking We+..... | 41 | | |
| Figure 38: New Orleans Bio Innovation Center..... | 42 | | |
| Figure 39: Plan de masse du New Orleans Bio Innovation Center..... | 42 | | |
| Figure 40: Axonométrie des plans de NOBIC..... | 43 | | |

| | |
|---|----|
| Figure 41: plan rez-de-chaussée NOBIC..... | 43 |
| Figure 42: Façade munie de brises soleil (Inspiré des volets traditionnels de la nouvelle-Orléans)..... | 44 |
| Figure 43: Vue de l'intérieure..... | 44 |
| Figure 44 : Photo prise par une caméra thermique de la façade Sud-Ouest..... | 44 |
| Figure 45: Le système de récolte des eaux pluviales..... | 45 |
| Figure 46: Béton caverneux..... | 45 |
| Figure 47: Vue sur la cour extérieure paysagère..... | 46 |
| Figure 48: Vue sur le mur du hall d'entrée..... | 46 |
| Figure 49: Perspective du centre d'innovation UTC..... | 47 |
| Figure 50: Plan du Rez-de-chaussée..... | 47 |
| Figure 51 : Plan du R+1..... | 47 |
| Figure 52: Plan du R+2..... | 47 |
| Figure 53: Effet de la lumière a l'intérieur du centre d'innovation UTC..... | 48 |
| Figure 54: Brise soleil..... | 48 |
| Figure 55: Vue extérieure plein / vide..... | 48 |
| Figure 56: Perspective de la Media-TIC..... | 48 |
| Figure 57: Vue aérienne..... | 49 |
| Figure 58: Plan de masse..... | 49 |
| Figure 59: Les différentes sections de la Media-tic..... | 50 |
| Figure 60: Façades de la Media TIC..... | 50 |
| Figure 61: Plans du RDC et du 1er étage..... | 51 |
| Figure 62: Façade ETFE (coussins gonflables)..... | 52 |
| Figure 63: Les capteurs pour contrôler la lumière et la température..... | 52 |
| Figure 64: Les systèmes de chauffage et de refroidissement..... | 53 |
| Figure 65: Carte d'accessibilité à la commune de Boumerdes..... | 59 |
| Figure 66: Carte de zonage sismique du territoire national - RPA 99. Source : Centre National de Recherche Appliquée en génie parasismique..... | 60 |
| Figure 67: Carte topographique de la commune de Boumerdes..... | 60 |
| Figure 68: Vue de l'intérieur de l'ENIM..... | 61 |
| Figure 69: carte des secteurs chef-lieu..... | 62 |
| Figure 70: Carte a l'échelle du POS 10..... | 64 |
| Figure 71: carte de l'environnement immédiat de l'assiette d'intervention..... | 66 |
| Figure 72: Weekly Summary températures..... | 68 |
| Figure 73: Weekly Summary humidités..... | 68 |
| Figure 74: La rose des vents..... | 69 |
| Figure 75: Les moyennes mensuelles des précipitations moyennes, maximales, minimales d'Alger..... | 70 |
| Figure 76: Diagramme Psychométrique..... | 72 |
| Figure 77: Simulation 3d de la course du soleil a midi..... | 74 |
| Figure 78: Simulation 3d de l'ensoleillement en hiver..... | 74 |
| Figure 79: Simulation 3d de l'ensoleillement en été..... | 74 |

| | |
|---|----|
| <i>Figure 80: Simulation 3d de l'ensoleillement en équinoxe.</i> | 75 |
| <i>Figure 81: Le diagramme solaire (stéréographique) d'Alger.</i> | 75 |
| <i>Figure 82: Le diagramme solaire (stéréographique) d'Alger.</i> | 76 |
| <i>Figure 83: plan de masse synthétique représentatif des paramètres microclimatiques et des ambiances au niveau du site.</i> | 77 |
| <i>Figure 84: Les accès vers les entités.</i> | 83 |
| <i>Figure 85: Vue de dessus.</i> | 83 |
| <i>Figure 86: Incubateur de startups dans le domaine des matériaux intelligent.</i> | 84 |
| <i>Figure 87: Esplanade en gradin.</i> | 84 |
| <i>Figure 88: Le parvis.</i> | 85 |
| <i>Figure 89: Vue sur la fontaine du parvis.</i> | 85 |
| <i>Figure 90: Vue sur la fontaine de la placette aménagée.</i> | 85 |
| <i>Figure 91: Pergola paramétrique.</i> | 85 |
| <i>Figure 92: Placette aménagée.</i> | 86 |
| <i>Figure 93: Vue sur les terrasses extérieurs.</i> | 86 |
| <i>Figure 94: Locaux énergétiques et techniques.</i> | 87 |
| <i>Figure 95: Patio.</i> | 87 |
| <i>Figure 96: Plateformes extérieures.</i> | 87 |
| <i>Figure 97: Façade est.</i> | 88 |
| <i>Figure 98: Façade nord.</i> | 89 |
| <i>Figure 99: Façade ouest.</i> | 89 |
| <i>Figure 100/ Rez-de-chaussée.</i> | 90 |
| <i>Figure 101: Plan du R+2.</i> | 92 |
| <i>Figure 102: plan de masse du projet représentatif des paramètres microclimatiques et des ambiances au niveau du site.</i> | 93 |
| <i>Figure 103: esquisse représentant l'effet aérodynamique.</i> | 93 |
| <i>Figure 104: Végétation et confort thermique.</i> | 94 |
| <i>Figure 105: filtration de l'air.</i> | 94 |
| <i>Figure 106: végétation et confort acoustique.</i> | 94 |
| <i>Figure 107: Ventilation transversale.</i> | 95 |
| <i>Figure 108: Schéma de fonctionnement climatique d'un patio.</i> | 95 |
| <i>Figure 109: Coupe schématique représentant la Stratégie d'été basée sur le rafraîchissement passif par la ventilation naturelle.</i> | 96 |
| <i>Figure 110: Protection solaire pour la cafétéria du Bloc.</i> | 96 |
| <i>Figure 111: Protection solaire pour le RDC du bloc C.</i> | 96 |
| <i>Figure 112: Coupe schématique représentant la stratégie d'hiver basé sur le chauffage passif.</i> | 96 |
| <i>Figure 113: Représentation des zones thermiques du projet.</i> | 97 |
| <i>Figure 114: Panneau hybride.</i> | 97 |
| <i>Figure 115: Plancher chauffant solaire.</i> | 98 |
| <i>Figure 116: Les pieux thermoactifs en été.</i> | 99 |

| | |
|---|-----|
| Figure 117: Les pieux thermoactifs en hiver..... | 99 |
| Figure 118: Principe de fonctionnement de la double flux..... | 99 |
| Figure 119: Dalle cinétique..... | 100 |
| Figure 120 : ETFE Diaphragme..... | 101 |
| Figure 121: Façade en ETFE de l'entité innovation et développement..... | 101 |
| Figure 122: Panneau sandwich..... | 103 |
| Figure 123: structure d'un panneau sandwich..... | 104 |
| Figure 124: panneau de laine de roche..... | 104 |
| Figure 125: Systèmes de fixation du corian..... | 105 |
| Figure 126: systèmes de fixations du corian..... | 105 |
| Figure 127: fonctionnement du vitrage isolant en été..... | 106 |
| Figure 128: Fonctionnement du vitrage isolant..... | 106 |
| Figure 129: Pavé écologique..... | 106 |
| Figure 130: Détail de drainage des murs..... | 107 |
| Figure 131: liaison entre les tiges et la platine..... | 108 |
| Figure 132: ancrage du pied de poteau métallique dans la fondation..... | 108 |
| Figure 133: Détails constructif de l'assemblage de la structure métallique tubulaire..... | 108 |
| Figure 134: revêtement d'un poteau tubulaire..... | 109 |
| Figure 135: Poutre alvéolaires..... | 109 |
| Figure 136: liaison poteau et poutre métallique..... | 109 |

Liste des schémas

| | |
|---|----|
| schéma 1: Les niveaux fondamentaux d'un SB..... | 9 |
| schéma 2: types de façades intelligentes..... | 17 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Types de données collectées en fonction du type de bâtiment..... | 20 |
| Tableau 2: Types de confort dans un bâtiment..... | 22 |
| Tableau3: Les tiers-lieux. Source : Auteurs..... | 39 |
| Tableau 4: Programme qualitatif..... | 57 |
| Tableau 5: Les moyennes mensuelles des températures moyennes, maximales, minimales d'Alger..... | 67 |
| Tableau 6: Les humidité relatives moyennes, maximales, minimales d'Alger..... | 68 |
| Tableau 7: Les moyennes mensuelles des vitesses du vent d'Alger..... | 69 |
| Tableau 8: représentation des conditions hygrothermiques d'Alger..... | 71 |

Liste des abréviations

SB : Smart Building

NTIC : Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication

BIM : Building Information Modeling

GTC : Gestion Technique Centralisée

GTB : Gestion Technique de Bâtiment

IP : Internet Protocol

FAI : Fournisseur d'Accès a Internet

ACV : Analyse du Cycle de Vie

MOA : Maitre d'Ouvrage

MOE : Maitre d'Œuvre

OPEX : Operating expéditeur

IoF : Internet of Evrerything

MN : Maquette numérique

CAO /FAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur

CHAPITRE INTRODUCTIF

I Introduction

Le changement climatique s'est présenté comme un défi de taille pour la société au XXI^e siècle. La hausse des températures est une menace potentielle pour les écosystèmes, mais aussi pour les humains. Cela a engendré une augmentation des consommations d'énergies, en tentant d'assurer le confort thermique. En conséquence, les émissions de gaz à effet de serre découlant de l'utilisation d'énergie par les bâtiments représentent environ 39 %¹ des émissions mondiales (en 2017). Cette situation inquiétante a obligé les pays du monde entier à mettre en place des projets et politiques publiques renforçant l'efficacité énergétique des bâtiments.

La consommation énergétique en Algérie ne cesse de grimper au fil des années et bientôt la production nationale ne suffira même plus à la consommation domestique, selon les prévisions des experts. Juste à titre indicatif pour illustrer cette tendance haussière de la consommation locale, le Commissariat aux énergies renouvelables et à l'Efficacité énergétique a révélé que la consommation énergétique nationale a augmenté de 59%² entre 2010 et 2019.

Cependant, l'examen des bilans énergétiques nationaux ont fait ressortir qu'un total de 410 millions TEP³ ont été consommés au cours des dix dernières années, dont 90 millions TEP dans l'industrie et BTP⁴, soit 22%⁵ de la consommation globale. Constatant ainsi que le secteur du bâtiment est un secteur très énergivore notamment en Algérie.

Bien que le bâtiment reste problématique vis-à-vis la consommation d'énergie, mais il peut aussi apporter solution ou même être un remède, en tentant de réaliser une architecture de plus en plus durable, qui inclut les 3 concepts importants ; le social, l'environnement, et l'économie. la nécessité de concevoir une architecture durable augmente parallèlement avec

¹ 2018 Global Status Report Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, dans Global Alliance for Buildings and construction.

URL : <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2018%20GlobalABC%20Global%20Status%20Report.pdf>

² ABBES Zineb, 06/02/2021, « consommation énergétique en Algérie : une augmentation de 59% en moins de dix ans », Algérie 1. URL : <https://www.algerie1.com/economie/consommation-energetique-en-algerie-une-augmentation-de-59-en-moins-de-dix-ans>

³ Unité servant, dans les bilans énergétiques, à comparer les sources d'énergie au pétrole brut, pris comme référence. Dictionnaire Larousse.

⁴ Bâtiment et Travaux publics

⁵ Le ministère de l'Energie

la prise de conscience pour protéger l'environnement, une conséquence des problèmes environnementaux à savoir l'augmentation des taux des émissions de CO2 qui réchauffent la surface de la terre (voir le bâtiment représente environ 40 %⁶ des émissions), le changement climatique, et la pollution, nécessitant ainsi de développer des énergies propres et inépuisables afin de répondre au double enjeu la sécurité énergétique et la protection de l'environnement⁷.

La mise en évidence des règles du développement durable assure la bonne gestion des énergies et offre tout le confort et la sécurité aux occupants. Ce dernier étant considéré comme un mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs, fait appel aux nouvelles technologies tout autant qu'aux solutions passives. Cette démarche se révèle "techno-optimiste"⁸ dans la mesure où elle met en évidence de manière explicite le rôle du progrès technique et des nouvelles technologies pour porter un développement durable. Dans cette conception, les besoins des générations présentes et futures ne sont donc pas limités par le stock de ressources naturelles, mais par l'état des techniques destinées à en tirer parti. La diffusion du concept de développement durable promeut donc le développement de nouvelles technologies favorables à l'environnement. En associant ces dernières à l'architecture, on voit naître un nouveau concept dit 'SMART BUILDING'⁹.

Le concept de "smart building" est associé à la connectivité ou La technologie sera le moteur de nos vies et régnera sur nos villes ce qui entrainerait l'apparition d'une "smart city" et son environnement urbain ; l'aspect digital, numérique ultra-connecté est le plus couramment utilisé. Les « smart city » sont associées au développement durable qui propose

⁶ DESHAYES Philippe, 2012, « Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : logiques d'innovation et/ou problématiques du changement », innovation, n°37, p. 219-236.

URL : <https://www.cairn.info/revue-innovations-2012-1-page-219.htm>

⁷ HUGON Philippe, 2005, « Environnement et développement économique : les enjeux posés par le développement durable », Revue internationale et stratégique, n°60, p. 113-126.
URL : <https://www.cairn.info/revue-internationale-et-strategique-2005-4-page-113.htm>

⁸ NADAL Simon, 30 juillet 2019, les nouvelles technologies au service de l'environnement, dans vie public.

URL : <https://www.vie-publique.fr/parole-dexpert/268457-les-nouvelles-technologies-au-service-de-lenvironnement>

⁹ Les bâtiments intelligents, fonctionnement et principaux avantages, dans Quelle Energie, par Effy URL : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/domotique/batiments-intelligents>

des solutions adéquates (autres que numériques) à tous les problèmes environnementaux que les villes vivent¹⁰.

II Problématique générale

Le concept du smart building constitue-t-il la solution optimale pour conjuguer les avantages des nouvelles technologies avec les impératives de l'architecture durables ?

L'approche numérique et digitale seule ne résume pas la notion du Bâtiment Intelligent, elle ne peut donc résoudre la situation. En effet il est nécessaire de proposer de différentes pratiques et solutions intelligentes qui ont pour objectifs de réduire l'impact négatif des bâtiments sur leur environnement et de prendre soin de la qualité de vie des utilisateurs, en contribuant les nouvelles technologies et l'architecture durable (bioclimatique) pour rendre les bâtiments plus efficaces, durables, plus sûrs et plus confortables.

Parmi ces solutions dites intelligentes, les matériaux intelligents, étant une composition importante du Smart Building, ils sont considérés comme des éco-matériaux¹¹, ils savent tirer parti de la nature pour répondre aux nouveaux défis liés à l'environnement, tout en conservant un haut niveau de performance énergétiques. La construction d'un bâtiment écologique peut se faire à partir de matériaux responsables et durables, à l'aide de nouvelles technologies énergétiques bien évidemment.

Sur ce principe, et afin de rendre la construction des bâtiments intelligents plus accessible en Algérie, nous avons pensé à la conception d'un incubateur de startup dans le domaine des matériaux intelligents évoquant ainsi l'innovation technologique qui permettra de lancer cette nouvelle forme de conception qui s'avère être l'architecture de demain.

¹⁰ Smart city : quels liens entre technologies et respect de l'environnement dans la ville intelligente ? SYNOX : innovate together. URL : <https://www.synox.io/cat-smart-city/smart-city-environnement/>

¹¹ « Les matériaux de construction innovants, entre développement durable et technologie », 18/05/2018 ARCH et TECH. URL : <https://swissroc.ch/les-materiaux-de-construction-innovants-entre-developpement-durable-et-technologie/>

Un incubateur est un Equipment dédié au développement et à la création, dont les acteurs principaux sont les étudiants, enseignant et chercheurs, ce qui nous a poussé à choisir un site en plein université, la faculté des science technologie de Boumerdes M'Hamed Bougera, vu surtout la présence des spécialités principales dans le développement des matériaux, Physique, Chimie, Informatique, des mastères en physiques des matériaux, chimie Inorganique, ...etc.

Nous avons opté pour une assiette qui dégage un cadre verdoyant caractérisé par une végétation dense et variée, traversée par des parcours fréquentés quotidiennement par les utilisateurs et usages de la faculté, et comprend des espaces et des placettes aménagés qui servent de détente, justifiant ainsi un vécu bien installé.

III Problématique spécifique

Comment concevoir un incubateur de startup dans le domaine des matériaux intelligent à l'université de Boumerdes qui répond à la fois aux exigences environnementales et qui s'inscrit dans les enjeux du smart building, tout en respectant le vécu et l'effet naturelle de la parcelle ?

IV Les hypothèses

- Le Smart Building peut constituer une solution phare pour répondre aux enjeux de l'efficacité énergétique et optimiser les solutions de l'architecture bioclimatique (les solutions passives).
- La conception passerait par une analyse et compréhension approfondie de l'aspect physique, social et bioclimatique du site.
- La conception d'un incubateur de startup dans le domaine des matériaux intelligents à l'université de Boumerdes peut inciter l'entrepreneuriat entreprises/jeunes chercheurs afin d'ouvrir accès sur la construction des smart buildings en Algérie.

V Les objectifs

- Conception d'un bâtiment digital à basse consommation énergétique à l'aide des nouvelles technologies par l'exploitation des énergies renouvelables, des matériaux intelligents et façades intelligentes.
- Création d'un bâtiment qui respecte le vécu du terrain et qui n'agresse pas l'effet verdoyant de la parcelle.

- Rendre la construction des smart building accessible en Algérie afin d'activer la démarche techno-optimiste dans une visée durable et lutter contre la consommation incontinentes des stocks naturels locaux.

I PREMIER CHAPITRE : Smart building et efficacité énergétique

Introduction

Le smart building fait référence à l'ensemble des technologies utilisées pour rendre la conception, la construction et le fonctionnement des bâtiments plus efficaces, s'appliquant à la fois aux bâtiments existants ou nouveaux. Il est caractérisé par deux dimensions :

- La durabilité : à savoir réduire les consommations des ressources, les espaces, et réduire la quantité de déchets et de rejets lors de la phase de construction.
- La communication : à savoir concevoir des systèmes permettant l'intégration des fonctions ou des services indispensables à adopter aux besoins des utilisateurs, et ce grâce au NTIC.

Dans la volonté de concrétiser nos objectifs, nous allons aborder dans ce chapitre le concept du smart building, la gestion active de l'Energie, la sobriété énergétique, ainsi que le BIM en tant qu'outil innovant d'optimisation énergétique.

I.1 Définition du smart building

Le smart building peut être défini comme un bâtiment à haute performance énergétique, qui peut gérer de manière optimisée des équipements consommateurs et des moyens de production et du stockage de l'énergie tout en assurant le confort des usagers.

Il correspond à l'utilisation des solutions techniques communicantes permettant d'influer sur le fonctionnement du bâtiment, soit par automatisme soit par une action des usagers ou gestionnaires en fonction des informations qui leur sont communiquées par les équipements intelligents.

Pour construire un Smart Building, plusieurs solutions durables et complémentaires peuvent être mises en place¹².

- ❖ *La prise en compte des règles de la construction bioclimatique et de la thermique :*
 - Gestion des apports solaires/ forme du bâtiment : ils représentent l'énergie solaire introduite par l'ensoleillement direct vers les vitrages et par transmission surfacique des parois en contact avec l'extérieur.
 - Le choix de la localisation du bâtiment¹³.

¹² www.smartgrid-cre.com

¹³ Implantation et orientation : afin de bénéficier de l'isolation et assurer la production des énergies renouvelables.

- ❖ *La mise en place des systèmes performants :*
 - La ventilation afin de limiter les déperditions thermiques liées aux ouvrants et par conséquent, bénéficier de l'isolation.
 - La climatisation et le chauffage.
 - Adoption des nouvelles technologies intelligentes, techniques de gestion d'énergie¹⁴.
- ❖ *Développement de la domotique et de l'immotique.*

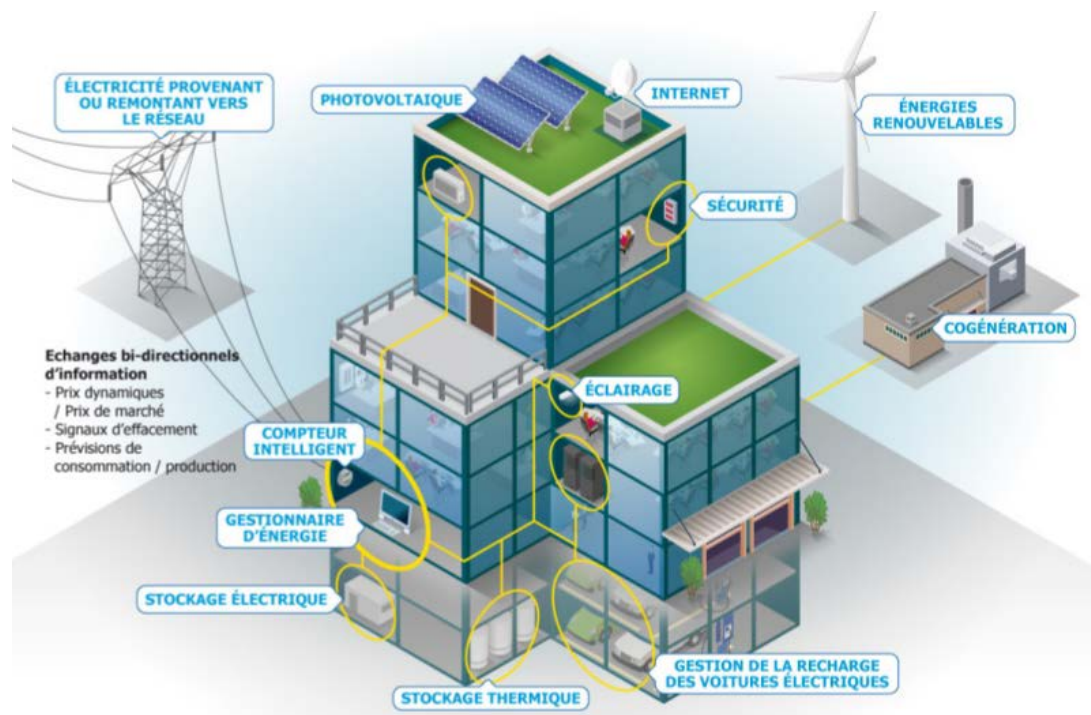


Figure 1: Bâtiment intelligent et ses composantes

Source : <https://www.objetconnecte.com/wp-content/uploads/2016/03/rte-screen-800x580.jpg>

Au-delà des aspects techniques et technologiques, le concept du smart building est dépendant du consommateur, c'est-à-dire l'utilisateur.

I.2 Les caractéristiques du smart building

- Le bâtiment maîtrise et contrôle l'espace intérieur et extérieur grâce à des systèmes automatisés permettant au bâtiment de répondre aux conditions et variables internes et externes (changements climatiques, incendies).
- Le bâtiment détermine le moyen le plus efficace et efficient et fournit un environnement pratique et confortable aux occupants.
- Le bâtiment répond aux besoins des occupants grâce à des systèmes de communication avancés.

¹⁴ Il s'agit de concevoir et construire un bâtiment évolutif pouvant intégrer facilement diverses ENR.

I.3 Les niveaux fondamentaux d'un smart building

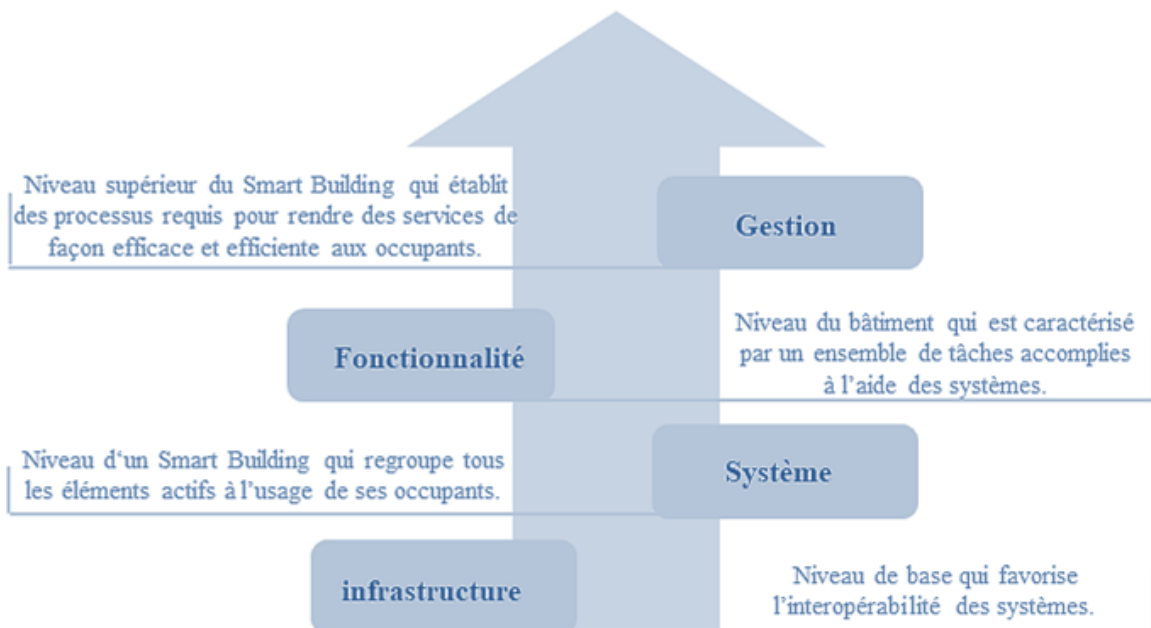


schéma 1: Les niveaux fondamentaux d'un SB.
Source : Les auteurs

I.4 Les catégories du smart building

- Gestion des équipements de confort et de sécurité : - Systèmes de sécurité.
- Efficacité énergétique.

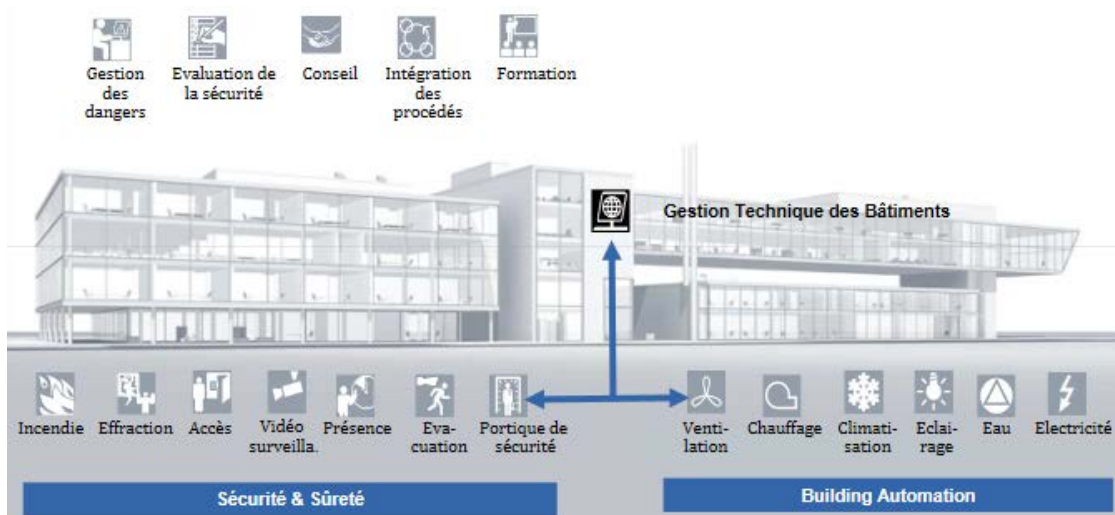


Figure 2: Gestion de l'ensemble des disciplines du bâtiment.
Source : Siemens_Batiments_Intelligents (asprom.com)

- Les systèmes d'information : - système d'information.
- Automatisation des espaces de travail.

I.5 Les principes d'un smart building

1. Adapter le fonctionnement des équipements à la présence des occupants et à leurs activités.
2. Optimiser les approvisionnements énergétiques en priorisant, si possible, les énergies renouvelables.
3. Tirer parti des apports gratuits.
4. Optimiser les applications techniques par un contrôle multi-applicatif.
5. Optimiser les performances globales des équipements (génération, distribution, émission).
6. Informer et sensibiliser : mesure et surveillance des consommations énergétiques pour chaque type d'utilisateur, d'occupant, d'exploitant, de mainteneur et de propriétaire. Les composants conceptuels du Smart Building.



Figure 3: Les principes d'un smart building
Source :file:///C:/Users/FUTURINFO/Downloads/Documents/6.table%20des%20illustrations.pdf

I.6 Les composants conceptuels d'un smart building

I.6.1 Les systèmes intelligents

I.6.1.1 La Domotique

La Domotique, du latin « Domus » signifiant maison, est l'ensemble des techniques visant à intégrer à l'habitat tous les automatismes en matière de sécurité, de gestion de l'énergie et de communication.

Le principe de la domotique est la gestion centralisée des équipements techniques (chauffage, sécurité, éclairage, etc.) et du multimédia dans un bâtiment (figure 05). Elle vise à apporter des fonctions de confort, de sécurité, d'économie d'énergie et de communication aux maisons ou appartements équipés. Ces fonctions sont réalisées par des capteurs, des actionneurs, des automates et plus généralement par des équipements électriques et/ ou électroniques. L'installation



Figure 4: champ couvert par la domotique
Source :<https://www.maintienadomicile-conseils.com/cadre-de-vie/la-domotique-des-outils-qui-simplifient-la-vie-des-seniors>

domotique peut être pilotée localement ou à distance depuis un Smartphone, écran tactile ou encore ordinateur.

1. Circuit de commande, transmission des informations pour la réalisation d'une tâche à partir du tableau électrique, le Wifi, etc.
2. Formations sur l'état des appareils.

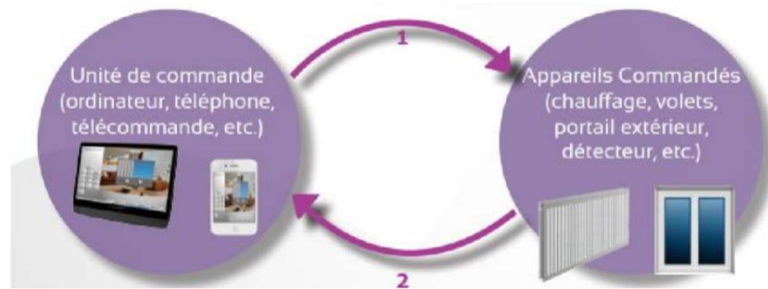


Figure 5: Principe du fonctionnement de la domotique

Source : <https://www.sirlan.com/livreblanc.pdf>

a. Les services offerts par la domotique dans l'habitat

La Domotique offre un panel très large de services à l'intérieur comme à l'extérieur de l'habitat. Nous les voir sur la (figure 06).

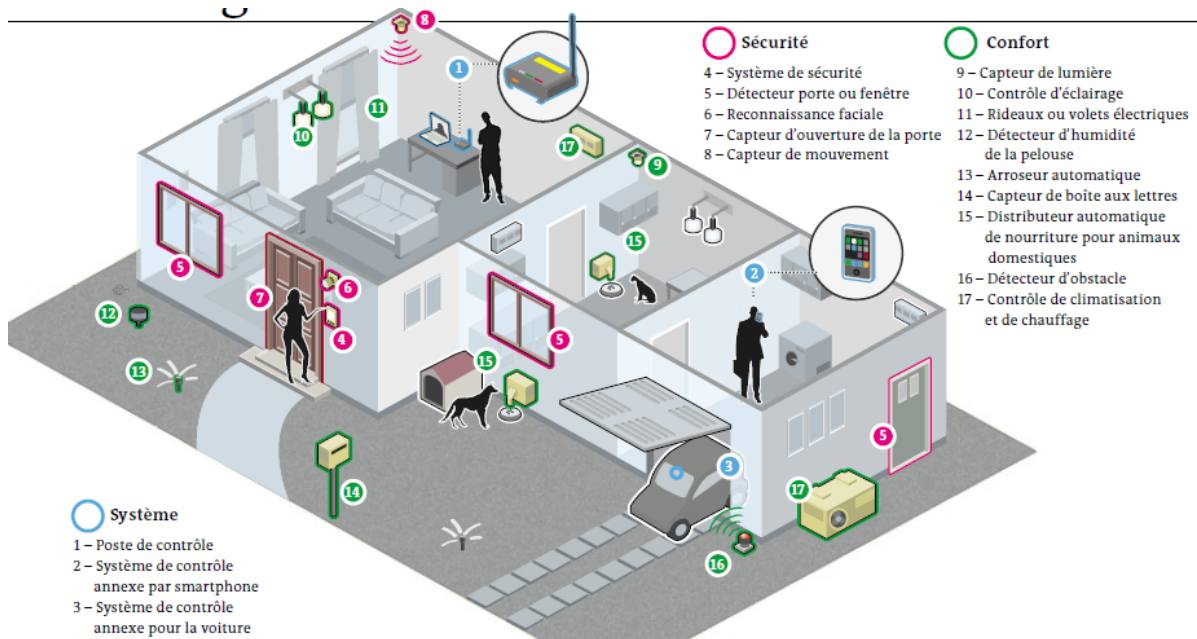


Figure 6: Service offerts par la domotique dans l'habitat

Source : Le Monde, supplément Sciences et Technologie, 9/06/2012.

Les différents équipements domotiques tel que le chauffage, la climatisation, l'éclairage et les différents appareils électriques permettent une meilleure gestion de l'Énergie.

I.6.1.2 L'immotique

L'immotique est la Domotique à l'échelle d'un grand bâtiment. Elle gère un plus grand nombre d'appareils (le chauffage, l'éclairage, la ventilation, la communication, l'énergie ou encore la sécurité).

Ils sont contrôlés à distance grâce à des modules ou un terminal. Les interfaces de contrôle peuvent être des télécommandes, des écrans tactiles ou des appareils mobiles (téléphone, PDA, etc.).

Il existe deux types différents d'immatiques :

➤ *La gestion technique centralisée (GTC)*

La GTC désigne un système permettant de gérer les équipements techniques dans les bâtiments tertiaires, à usage professionnel ou résidentiel collectif. Elle permet de gérer un seul lot technique donné comme l'éclairage ou le chauffage et la climatisation.



Figure 7: système de la GTC

Source : <https://genieciviletravauxpublics.blogspot.com/2015/04/connaissiez-vous-le-systeme-gestion.html>

➤ *La gestion technique du bâtiment (GTB)*

C'est le niveau supérieur de la GTC, elle gère l'ensemble des installations techniques sur un seul et unique pc, tels que le chauffage, climatisation, ventilation, électricité, en plus des équipements dont les ascenseurs, les alarmes, les contrôles d'accès et la vidéo surveillance.



Figure 8: Système de la GTB

Source : <https://genieciviletravauxpublics.blogspot.com/2015/04/connaissiez-vous-le-systeme-gestion.html>

I.6.1.3 Les trois couches indépendantes d'un Smart Building

Une architecture solution en trois couches indépendantes : matériels, infrastructure, services.

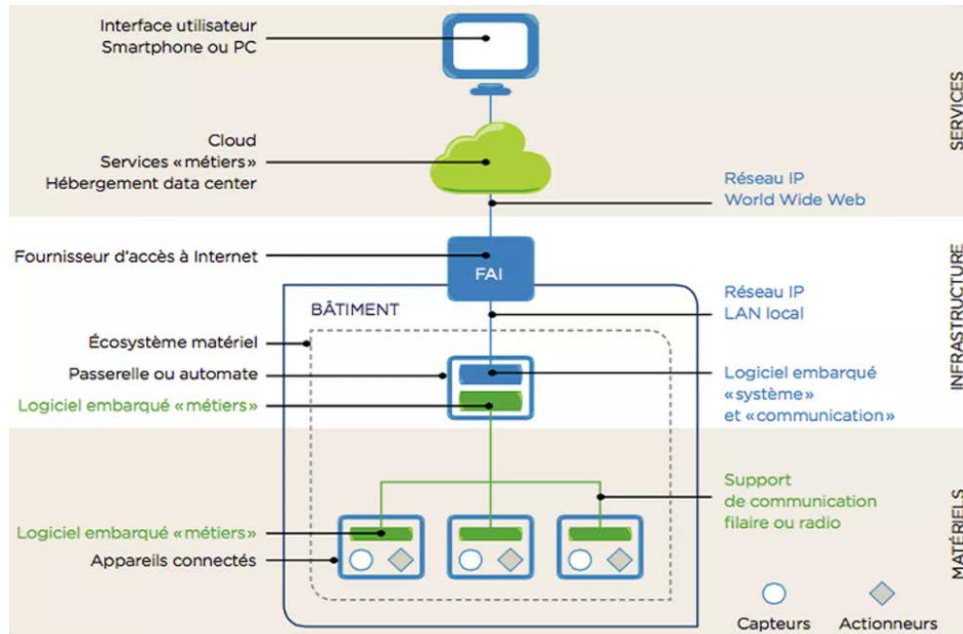


Figure 9: Les trois couches indépendantes d'un SB

Source : <https://www.journaldunet.com/economie/immobilier/1193055-smart-buildings-alliance-manifeste-2017-batiment-intelligent/>

Exemple Système GTB : Bureaux Le 225 à Dijon

❖ Solutions intelligentes et efficacité maximale

L'intelligence globale se situe au niveau de la Gestion Technique du Bâtiment (GTB).

Notamment en ce qui concerne l'interface avec les utilisateurs. Pour eux, l'intelligence est invisible : ils ont conscience que le bâtiment est capable de gérer leur confort sans action de leur part.

- 53 sous-compteurs électriques (par usage), 8 compteurs d'énergie thermique (par zones).
- 2 chaudières bois et 1 centrale de traitement d'air rendues communicantes avec le système de GTB.
- Régulation du chauffage et ventilation.



Figure 10: Bureau le 225 à Dijon

Source : Mémoire des bâtiments connectés pour de nouveaux services et une meilleure gestion de l'Énergie.

I.6.2 Les matériaux intelligents

On appelle matériau intelligent tout matériau ayant des capacités intrinsèques¹⁵ et extrinsèques¹⁶ leur permettant tout d'abord de **répondre aux stimuli** et aux **changements** qui se produisent dans l'environnement, puis d'**activer** en conséquence leurs **fonctions correspondantes**. Les stimuli peuvent venir de l'intérieur ou de l'extérieur.

Depuis ses débuts, la science des matériaux a évolué, de l'usage de matériaux structurels inertes à celui de matériaux fabriqués dans un but particulier, en passant par des matériaux actifs ou adaptatifs, pour en arriver aux matériaux intelligents qui ont des capacités de reconnaissance, de discrimination et de réaction plus précises.

I.6.2.1. Les exigences relatives aux matériaux intelligents

Pour avoir de telles capacités, les matériaux et les alliages nouveaux doivent répondre à plusieurs spécifications fondamentales dont :

- Des propriétés techniques, qui comprennent des caractéristiques mécaniques telles que l'écoulement plastique, la limite élastique, ainsi que des caractéristiques de comportement telles que la tolérance aux dommages, la résistance électrique, la résistance thermique et la résistance au feu.
- Des propriétés technologiques, qui comprennent la fabrication, le formage, les possibilités de soudage, le traitement thermique, le niveau de déchets, la maniabilité, l'automatisation et les capacités de réparation.
- Des critères économiques reliés aux coûts des matériaux bruts et de la production, au prix des fournitures et à leur disponibilité.
- Des caractéristiques environnementales comme la toxicité et la pollution.
- Des critères de développement durable, ce qui implique des capacités de réutilisation et de recyclage.

On constate donc qu'il s'agit de matériaux sensibles adaptatifs et évolutifs. Leurs structures leur permettent de se comporter comme des capteurs (détecter des signaux), des actionneurs (effectuer une action sur son environnement) et même des processeurs (traiter, comparer, stocker des informations). Ils sont capables de modifier spontanément leurs

¹⁵Inhérent, qui appartient en propre, indépendant des facteurs extérieurs.

¹⁶Qui ne constitue pas une partie essentielle d'une chose ou provient de l'extérieur d'une chose

propriétés physiques, leurs formes, connectivités, viscoélasticité ou même leurs couleurs, en réponse à des excitations naturelles ou provoquées venant de l'extérieur ou de l'intérieur.

Ce sont donc des matériaux qui se caractérisent par La capacité de changer de propriétés et d'énergie, la réversibilité et la taille discrète, dont la réponse peut être électriques, chimiques, thermique ou magnétique.

I.6.2.2. Classement des matériaux intelligents

Les matériaux intelligents se présentes donc sous plusieurs catégories dont :

- Piézoélectrique : lorsqu'il est soumis à une charge électrique ou à une variation de tension, il subit des transformations mécaniques, évoquant des changements appelés effets directs et effets inverses.
- Électrostrictif : comportant les mêmes propriétés qu'un matériau piézoélectrique, la transformation mécanique cette fois est proportionnelle au carré du champ électrique. Les déplacements se font toujours dans le même sens.
- Magnétostrictif : soumis à un champ magnétique, il subira une déformation mécanique induite, et vice versa (effets direct et inverse). Il peut donc servir de capteur et/ou d'actionneur. Le Terfenol-D en est un exemple.
- Alliage à mémoire de forme : Soumis à un champ thermique, ce matériau subira des transformations de phase qui entraîneront des déformations. Il retrouvera son état martensitique¹⁷ à basse température, et sa forme originale et son état austénitique¹⁸ à haute température : Le Nitinol TiNi en est un exemple.
- Fibres optiques : ces fibres utilisent l'intensité, la phase, la fréquence ou la polarisation de la modulation pour mesurer la déformation, la température, les champs électriques et magnétiques, la pression et autres quantités mesurables. Ce sont d'excellents capteurs.
- Matériaux à fonctions ajoutées : qui sont essentiellement des matériaux capteurs¹⁹, catalyseurs²⁰ et textiles²¹.

¹⁷ Qui contient de la martensite), qui est une phase métastable des aciers, issue de la transformation sans diffusion de l'austénite

¹⁸ Qui a des propriétés similaires à celles de l'austénite désigné comme étant un constituant micrographique des aciers, contenant une solution de carbone.

¹⁹ Qui détectent certains signaux, régler leur sensibilité en fonction des changements environnementaux ou restaurer une sensibilité amoindrie

²⁰ Qui détectent la progression d'une réaction ou connaître la réaction d'un produit

²¹ Qui détectent divers signaux du corps humain et les conditions atmosphériques afin de procurer davantage de confort

I.6.2.3. Exemples des matériaux intelligents

On peut citer quelques exemples des matériaux intelligents :

- Béton translucide : c'est une combinaison de béton avec fibre optique qui, permet à la lumière de traverser les murs d'un pourcentage contrôlable relatifs aux épaisseurs
- Brique intelligente : elle regorge de capteurs, de processeurs et de liaisons de signaux radio pour prévenir les pressions cachées et les dégâts occasionnés par des catastrophes naturelles telles que des tremblements de terre et des ouragans, permettant ainsi de surveiller la température, les vibrations et les mouvements à l'intérieur du bâtiment.
- Ciment intelligent : il est basé sur la mise au point de carbonate de magnésium au lieu du carbonate de calcium et absorbe le dioxyde de carbone de l'atmosphère.
- On peut mentionner aussi la brique lumineuse, le verre autonettoyant, le verre chromogénique, etc.



Figure 11: Béton translucide

Source : <https://detours.canal.fr/ciment-intelligent-pourrait-transformer-trottoirs-source-denergie/>



Figure 12: ciment intelligent

Source : <https://detours.canal.fr/ciment-intelligent-pourrait-transformer-trottoirs-source-denergie/>

I.6.3 Les façades intelligentes

La « façade intelligente » fait partie de la nouvelle conception intelligente du bâtiment, se référant à cet élément qui remplit la fonction d'enveloppement de l'intérieur habité.

I.6.3.1. Types des façades intelligentes

Les façades intelligentes viennent améliorer l'interdépendance entre les environnements interne et externe.

Outre le pouvoir esthétique, les façades intelligentes sont essentielles pour améliorer les performances environnementales et l'énergie dans le bâtiment.

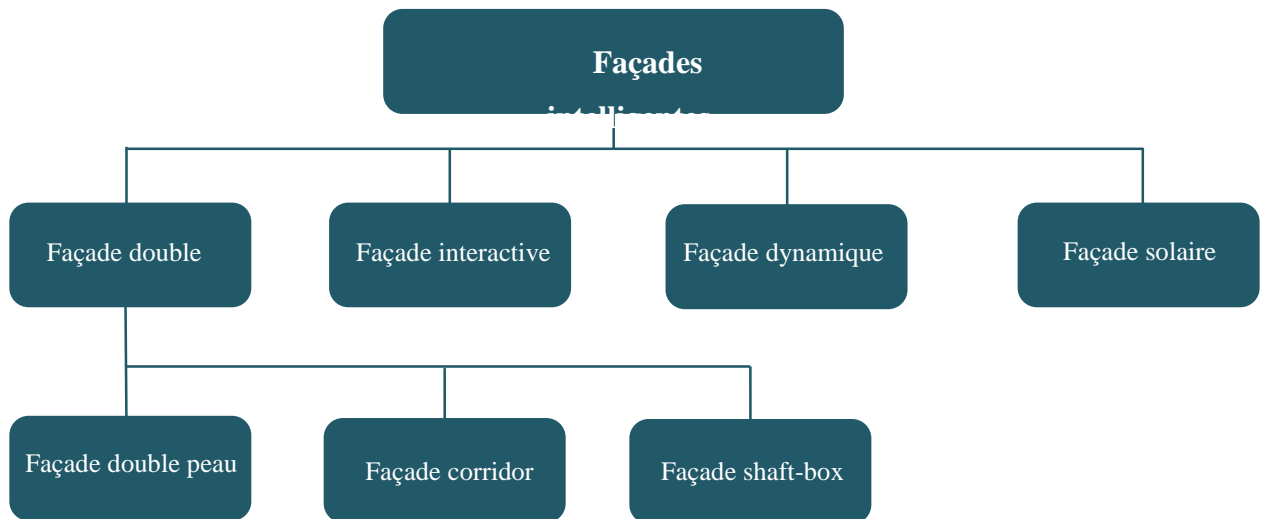


schéma 2: types de façades intelligentes
Source : Auteurs

I.6.3.2. Caractéristiques des façades intelligentes

Les façades intelligentes sont caractérisées par un certain nombre de caractéristiques, notamment :

- Possibilité de changer leurs propres propriétés physiques thermiques telles que la perméabilité et l'absorption ;
- Possibilité de modifier la couleur et de contrôler la transparence de l'intérieur et de l'extérieur, ainsi que la possibilité de modifier la texture ;
- La possibilité d'ombérer et de contrôler la quantité d'éclairage à distance ;
- L'isolation acoustique est assurée par l'utilisation des matériaux qui dissipent les ondes sonores et les absorbent ;
- Les façades intelligentes permettent d'obtenir un système d'isolation thermique approprié dans les climats chauds et froids ;
- Économie d'énergie et réduction de la pollution de l'environnement.

I.6.3.3. Exemples de façades intelligentes

a. Façade à double peau

Les doubles façades sont des développements intéressants, car elles isolent les fonctions intérieures derrière la double façade, et une double interface est obtenue en ajoutant une couche de verre à l'extérieur de la façade pour fournir des bâtiments ventilés et insonorisés.



Figure 13: Façade à double peau
Source : <https://library.iugaza.edu.ps/thesis/122641.pdf>



Figure 14: Façade shaft-box



Figure 15: Façade corridor

b. Façades interactives

Les façades interactives sont le point culminant de différentes technologies dans le domaine de l'architecture, qui répondent aux différentes conditions environnementales par l'introduction d'une approche de conception complexe telle que l'utilisation de verre à haute performance et l'amélioration des systèmes de contrôle et des processus d'automatisation afin de garantir les performances optimales du bâtiment et l'utilisation optimale de l'énergie naturelle disponible. Éclairage et ventilation à haute efficacité.



Figure 16: façade du bâtiment Greenpix, qui éclaire le soir de différentes couleurs.
Source : <https://library.iugaza.edu.ps/thesis/122641.pdf>

c. Façades dynamiques

Les façades dynamiques capables de modifier la forme, l'autoguidage, le contrôle du nombre d'ouvertures en fonction de facteurs environnementaux externes, notamment la température, l'humidité et le vent, ont un impact significatif sur la réduction de la

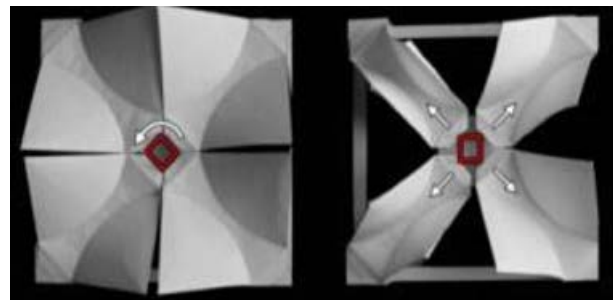


Figure 17: Modèle pour une façade dynamique
Source : <https://library.iugaza.edu.ps/thesis/122641.pdf>

consommation d'énergie. Ces façades doivent être conçues dès les premières étapes du processus de conception pour qu'il s'intègre à toutes les parties du bâtiment afin de réaliser le concept d'automatisation et de réduire la consommation d'énergie.

d. Façade solaire

Contribuent à réduire la consommation d'énergie et à utiliser l'énergie solaire comme source d'énergie renouvelable, car elle repose sur l'utilisation de panneaux solaires et photovoltaïques dans les façades, pour générer et utiliser de l'électricité à des fins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage. Les panneaux photovoltaïques agissent comme un rideau devant les murs intérieurs isolés avec des tubes pneumatiques afin d'empêcher le réchauffement des unités photovoltaïques, et ces façades soutiennent les bâtiments écologiques.



Figure 18: Façade solaire
Source : <https://library.iugaza.edu.ps/thesis/122641.pdf>

I.7 Production et consommation d'énergie dans un Smart building

Génération pour soi-même

Le bâtiment produit de l'électricité pour son propre usage et pour le fournisseur via le réseau électrique.

Consommation d'énergie intelligente

Le bâtiment réagit aux signaux tarifaires du réseau et décale ou réduit la consommation d'énergie en heures pleines.

Stockage

Le bâtiment est utilisé pour le stockage et contribue donc à équilibrer le réseau.

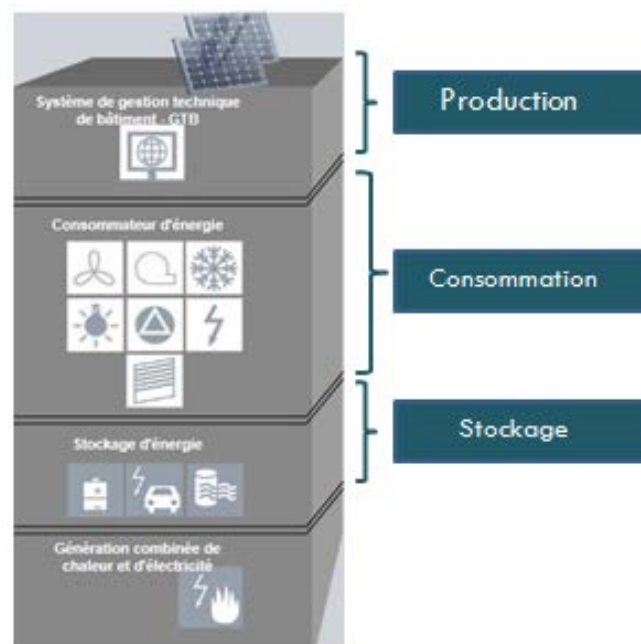


Figure 19: Les niveaux de consommation d'Énergie.
Source : <file:///C:/Users/FUTURINFO/Downloads/Documents/heirrich.pdf>

I.7.1. Pilotage et suivi énergétique

Le smart building permet un comptage, une analyse et un pilotage précis des consommations dans l'objectif de réaliser des économies d'énergie. Outre le compteur intelligent, le dispositif d'un smart building est constitué de dispositifs :

- De comptage des consommations d'énergie par usage, ainsi que les productions d'énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque).
- De suivi et d'analyse des consommations par fonctions (chauffage, climatisation, éclairage, etc.), par appareil ou par groupe d'appareils, connectés à des appareils mobiles (Smartphones, tablette, etc.) et à un dispositif de GTB permettant d'automatiser certaines fonctionnalités (gestion de l'éclairage en fonction de la luminosité, du chauffage en fonction des conditions météorologiques, etc.). Les mesures (données recueillies) sont variées, importantes et différentes selon le type de bâtiments considérés. Le tableau ci-dessous résume les types de données collectées en fonction du type de bâtiment.
- Visualisation (tableau de bord) permettant, à l'échelle du bâtiment de maîtriser la demande en électricité et de définir des scénarios de délestage, par exemple :

| | |
|--------------------------------|--|
| Petit tertiaire | Consommations énergétiques, éclairage et fonctionnement des CVC (chauffage, ventilation, climatisation). |
| Grand tertiaire | Implique souvent l'existence d'un superviseur. Le volume de données provenant de l'ensemble des équipements (capteurs et actionneurs du bâtiment) est potentiellement important. |
| Bâtiments à usages spécifiques | Données liées à la sécurité, aux flux des personnes (hôtel) ToC et présence de bactéries dans l'eau (piscine) Données médicales, fonctionnement des machines (hôpitaux) Données d'évaluation de la qualité des environnements intérieurs (écoles notamment) vont exploser et permettre la mise en œuvre de nouveaux services exploitant ces données. Data center nécessitant une fourniture importante en énergie. |

Tableau 1: Types de données collectées en fonction du type de bâtiment.

Source : livre *Bâtiment intelligent et efficacité énergétique*.

I.8 Smart Building et qualité d'usage

La notion de qualité d'usage d'un lieu peut se définir comme sa capacité de répondre aux besoins, attentes et contraintes des parties prenantes d'un bâtiment (occupants, usagers,

maitre d'ouvrage, etc.). Pour le bâtiment, il s'agit alors d'apporter des réponses spatiales, techniques et fonctionnelles.

Cette notion est indissociable de la démarche de « la qualité environnementale » qui a été prise en compte dans les démarches de conception afin de construire des bâtiments durables.

La qualité d'usage renvoie aux dimensions diverses et complémentaires suivantes :

La protection et l'entretien des personnes et des biens (sécurité, santé, entretien des équipements, etc.) ;

L'assistance aux personnes (accessibilité, maintien des a domiciles, etc.) ;

La création des conditions de confort d'ambiance et d'usage (conforts psychophysiologique, ergonomie des espaces, et confort d'activités, etc.).

La notion de confort est une partie importante et intégrante de la qualité d'usage.

| | |
|--------------------|---|
| Confort thermique | Plage de confort entre froid et chaud, conditionnées par le contact entre l'environnement thermique intérieur et celui extérieur ; ainsi que l'installation du chauffage et du refroidissement mises en place. |
| Confort acoustique | Niveau de bruit des nuisances acoustiques et leurs représentations mentales relatives. |
| Confort visuel | -Marge de confort visuel entre éclairage naturel et artificiel ; -Qualité et degré de variation de l'éclairage, nécessaire aux besoins psychologiques des occupants ; -Qualité des vues vers l'extérieur. |

| | |
|------------------|--|
| Qualité de l'air | <p>-Vitesse d'air perçue par les occupants, entre aération naturelle et artificielle ;</p> <p>-Degré de pureté de l'air ou de pollution perçu sous forme d'odeurs ou suscitant des irritations et/ ou allergies.</p> |
|------------------|--|

Tableau 2: Types de confort dans un bâtiment.

Source : livre *Batiment intelligent et efficacité énergétique*.

I.9 Gestion d'un projet de Smart Building

Lors de la conception et la réalisation d'un smart building, nous sommes confrontés, outre la dimension constructive, technique et technologique de ce type d'ouvrage a une difficulté importante liée à leur management. La difficulté porte principalement sur deux aspects :

- La partie technique et technologique visant un bâtiment conforme à un cahier des charges exigeant en étant à la fois très vertueuse sur le plan environnemental et communicant ;
- Le nombre, la diversité de compétences et le degré d'intervention des acteurs (parties prenantes) par rapport à un projet habituel.

I.9.1 Acteurs et parties prenantes dans un projet de Smart Building

Le smart building est un projet à la croisée de divers domaines que sont le bâtiment, l'énergie, les services, l'informatique et la communication. Les acteurs du domaine peuvent être décomposés en quatre familles²² :

- Utilisateurs : maitres d'ouvrages qu'ils soient privés (promoteurs...) ou publics (collectivités, gestionnaires de patrimoine...);
- Industriels : Fabricants de matériel, de logiciels, de distributeurs... ;
- Operateurs : fournisseurs d'énergie, service, réseau, communication ;
- Sociétés de services : BET, assistants a maitre d'ouvrage, intégrateurs, ex : exploitants, SSII²³, start-ups.

²² Voir le livre

²³ Société de Service d'Ingénierie Informatique

Ces acteurs peuvent être hiérarchisés en fonction de leur rôle dans la réalisation du smart building (figure) :



Figure 20: Acteurs et parties prenantes dans un projet de smart building.
Source : Livre Bâtiment intelligent et efficacité énergétique.

I.10 Etapes d'un projet de smart building

La gestion d'un projet de smart building passe par les étapes d'un projet habituel avec quelques spécificités liées à l'intégration de systèmes intelligents au bâtiment²⁴.

Phase de programmation

Son objectif : définir et prescrire les solutions intelligentes du bâtiment.

Le maître d'ouvrage doit définir ses attentes et ses contraintes, en impliquant un maximum d'interlocuteurs et d'utilisateurs. Une étude fonctionnelle débouchant sur un « cahier des charges fonctionnel », établi à la suite d'entretiens et d'analyses menées par un bureau d'études ou un cabinet d'architectes serait l'idéal à ce stade.

Phase de conception

Son objectif : Concevoir et choisir les solutions intelligentes.

²⁴ Ademe, 2015 « Smart Building : des bâtiments connectés pour des niveaux services et une meilleure gestion de l'énergie » 5p.

La phase de conception s'organise en déterminant les composants a même de répondre à la mise en œuvre de solutions intelligentes en se basant sur les attentes et besoins du Maitre d'ouvrage.

Phase de réalisation ou d'installation

Son objectif : Installer et mettre en place les équipements

L'installation des équipements doit être réalisée par des entreprises ayant une expertise et des compétences dans les techniques actuelles de gestion énergétique.

Phase de conception

Son objectif : Vérifier que le bâtiment est conforme au cahier des charges, assurer la prise en main des solutions intelligentes et sensibiliser les utilisateurs à leur fonctionnement.

Phase d'exploitation

Son objectif : Suivre, contrôler et améliorer l'efficacité énergétique

Cette étape nécessite de faire appel un prestataire pour garantir la maintenance optimale des solutions intelligentes : régulateurs, capteurs et actionneurs, système de GTB...

I.11 Importance du « Commissionnement » dans le projet du Smart Building

Le commissionnement est un processus qui vise a s'assurer qu'un bâtiment, et tout particulièrement ses systèmes, sont conçus, installés et testés conformément aux performances exigées par le maitre d'ouvrage et qu'ils puissent être exploités de façon optimale. Ce processus permet donc de garantir au maitre d'ouvrage et aux utilisateurs du bâtiment des performances énergétiques et d'usage.

Le commissionnement débute dès la programmation pour aller jusqu'aux premières années d'exploitation.

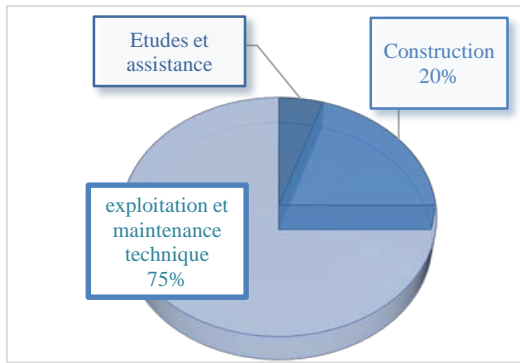


Figure 21: Répartition des coûts dans un projet de Smart building
Source : Auteurs

I.12 Cout d'un Smart Building

Le cout global d'un bâtiment représente l'ensemble des couts d'un projet sur toute sa durée de vie. Il est composé d'un cout de l'investissement (Capex)²⁵ et les couts opérationnels différé ou d'exploitation (Opex)²⁶.

Le « Poids » de l'exploitation d'un bâtiment dans le cout total est variable et dépend des occupants et des usages. Les variables extérieures ont aussi un impact sur les couts d'exploitation. Il peut représenter jusqu'aux ¾ du cout global du projet²⁷.

I.13 Smart Building et enjeux à venir

Nous avons pu voir jusque-là ce que doit ou pourrait être un bâtiment intelligent : un bâtiment durable, frugal, et connecté capable de communiquer avec son écosystème.

Mais dès lors, des interrogations apparaissent quant aux enjeux et défis futurs : Comment l'immense flux de données relevés lors de l'activité du bâtiment est collecté et traité ? Quelles évolutions technologiques pour les objets connectés ? Etc.

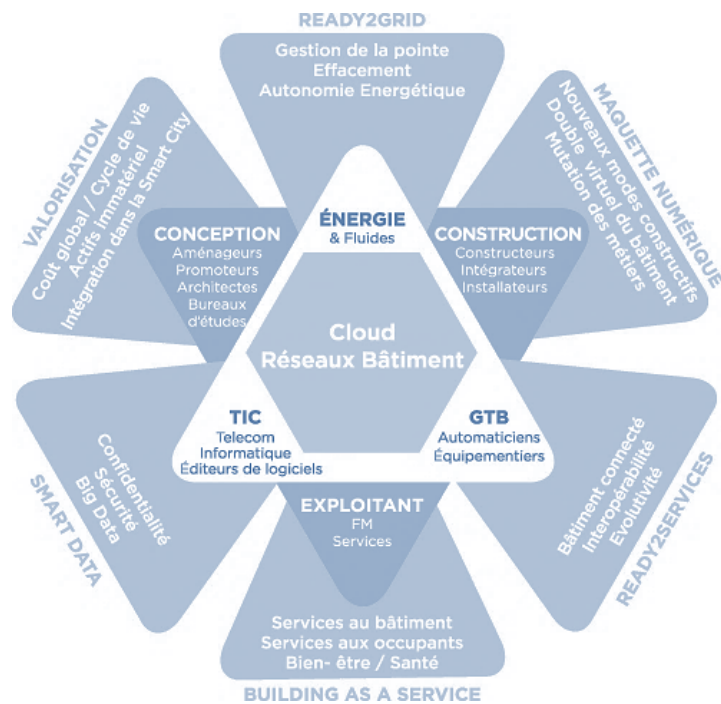


Figure 22: Ecosystème du bâtiment intelligent
Source : Livre « Bâtiment intelligent et efficacité énergétique ».

²⁵ Capex : « capital expenditure » représente l'ensemble des dépenses engagées du début du projet a sa réception définitive.

²⁶ Opex : « Operating expenditure » représente des couts auxquels doivent faire face les propriétaires et les utilisateurs du bâtiment, tout au long du cycle de vie de ce dernier.

²⁷ SBA (SMART BUILDING ALLIANCE) 2014, manifeste : des bâtiments intelligents et des territoires responsables et durables, 63p.

I.13.1. De l'Internet des objets a « l'internet du tout connecté » (Internet of Everything, IoE)

Il s'agit en fait d'un concept inventé et promu par le groupe Cisco. L'Internet of Everything (IoE) sera probablement la réalité de demain et comprend non seulement

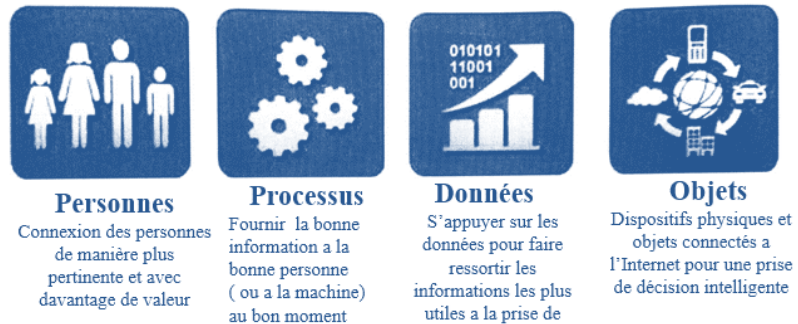


Figure 23: L'internet du tout connecté

Sourre : Livre « Bâtiment intelligent et efficacité énergétique »

l'Internet des objets, mais également les données, les processus et également les gens (via leurs Smartphones et leurs réseaux sociaux). C'est un Internet multidimensionnel qui embrasse les champs de l'Internet des objets et celui du big data.

I.13.2. Management du Big data et du Cloud Computing

Il correspond à l'organisation, la gestion et la gouvernance d'un grand volume de données. Le Big data répond à trois problématiques principales (règles des <<3V>>) : Un *volume* de données important à traiter, une importance *variété* d'informations (provenance de divers sources...), un certain niveau de *vélocité* à atteindre (vitesse de création, collecte et partage des données...) ²⁸

Le Cloud Computing est une infrastructure dans laquelle le stockage et la puissance de calcul sont gérés par des serveurs distants auxquels les usagers se connectent via une connexion Internet sécurisée. Il offre aux usagers une souplesse d'accès à des services identiques et d'exploitation Des mêmes données (une même maquette numérique 3D d'un projet de construction, tableaux de suivi de consommation énergétique d'un bâtiment, etc.). L'offre dans le domaine du bâtiment intelligent foisonne.

I.13.3. Vers le Smart Data

L'enjeu, désormais est de passer du big data au smart data à savoir une nouvelle approche du traitement des données, consistant à extraire de l'immense masse de données procurée par le big data les informations les plus pertinentes pour suivre de manière intelligente les consommations énergétiques d'un bâtiment (ou le fonctionnement d'un équivalent) ce qui

²⁸ Institut Montaigne, avril 2015, Big Data et objets connectés, faire de la France un champion de la révolution numérique, 2015p

permet de surveiller automatiquement la dérive de certaines valeurs et ainsi d'envisager la maintenance prédictive.

I.13.4. Smart grid ready

Le bâtiment va pouvoir ainsi adapter et réguler sa consommation énergétique en fonction des options tarifaires telles que les heures creuses et heures de pointe et ce sans nuire au confort des occupants.

Également pouvoir informer sur sa projection de consommation pour que cette dernière s'adapte à la production. Ce fonctionnement a pour vertu de piloter la consommation en fonction de l'énergie disponible surtout dans un contexte où nous assistons à un grand développement d'EnR.

I.14 Le BIM et la performance énergétique du bâtiment

Le secteur de la construction vit actuellement une importante transition énergétique et numérique.

Cette « nouvelle » approche constitue un réel bouleversement de pratiques et changement de paradigme. Elle contribue de manière significative à améliorer le process de la gestion de projet de construction de sa conception à sa destruction. Le BIM permet également de mieux éclairer les choix et d'anticiper les risques.

I.14.1. Qu'est-ce que le BIM ?

Le BIM (Building Information Modeling), traduit par « modélisation numérique des projets de bâtiment et d'infrastructure » et aujourd'hui une nouvelle démarche de développement de réalisation et de suivi des projets de construction. Le BIM permet en phase de conception, de construction et d'exploitation de simuler le comportement d'un projet de construction par la création d'une maquette numérique.

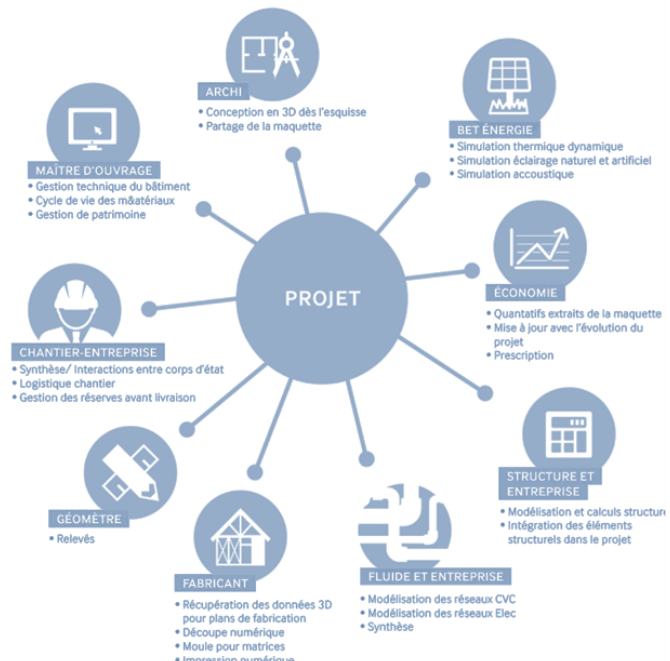


Figure 24: Le BIM est un travail collaboratif.
Source : Bâtiment intelligent et efficacité énergétique.

La maquette numérique MN ou building information model contient une représentation numérique 3D de l'ouvrage associée à une base de données. La richesse de la maquette réside dans le fait qu'elle intègre presque l'ensemble des données nécessaires au projet en fonction du cycle de vie de l'ouvrage de l'évaluation programmation à la déconstruction.

I.14.1.1. Contexte actuel du BIM et de la maquette numérique

L'intégration de la maquette numérique dans le processus de l'ingénierie et de la gestion de projet permettra sans aucun doute d'augmenter la performance et la qualité de conception et la réalisation d'un projet de construction. De manière plus fine, elle permet de :

- Faciliter l'interaction entre les parties prenantes du projet grâce à un outil de travail collaboratif partagé et à des processus d'échanges maîtrisés tout au long du cycle du projet ;
- Favoriser la compréhension mutuelle du projet, ses enjeux et aider à la décision grâce à la maquette numérique (visualisation en 3D du projet) ;
- Eviter les doubles saisies et gagner en productivité grâce à l'interopérabilité des logiciels métiers avec la maquette numérique ;
- Centraliser les données et documents pour que chaque acteur dispose à tout moment d'une information valide et actualisée.

I.14.1.2. Importance du BIM

Elle réside, au-delà de l'avancée technologique, dans les méthodes de projet de construction : chaque partie prenante (architecte, ingénieristes, BET...) alimente, crée et met à jour régulièrement la maquette numérique. Le projet revêt alors un caractère « intégré » avec l'application dès la phase amont de tous les acteurs, ce qui permet d'identifier assez tôt les sources d'erreur et les incohérences éventuelles.

I.14.2. BIM et performances énergétiques du bâtiment

Le BIM permet d'optimiser les performances globales d'un bâtiment et en particulier, de pouvoir prédire et suivre de manière très précise les performances énergétiques. Cet outil est particulièrement précieux tout au long du cycle de vie de l'ouvrage, et notamment et phases de conception et d'exploitation de l'ouvrage.

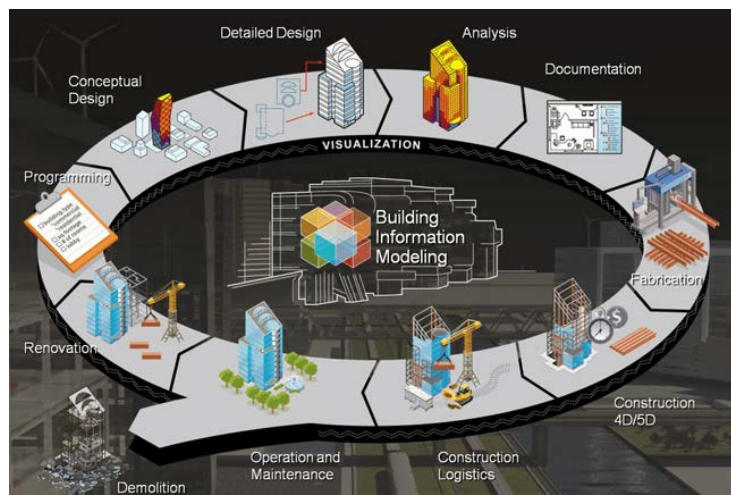


Figure 25: Le BIM et la maquette numérique
Source : Bâtiment intelligent et efficacité énergétique

I.14.2.1. En phase de conception

Le BIM est un moyen de mieux calculer et prédire la performance énergétique d'un bâtiment au stade de la conception. Il constitue un précieux outil d'aide à la décision : grâce à l'immense quantité d'informations qu'il est capable de prendre en compte, l'utilisation peut anticiper en amont le comportement thermique et acoustique du bâtiment, simuler les performances avant leur réalisation, calculer précisément les quantités de matériaux à mettre en œuvre, etc. Cette approche lui permet d'affiner les choix, d'optimiser, par exemple, l'isolation du bâtiment, d'analyser plus précisément son cycle de vie (ACV), de mieux évaluer le facteur de lumière d'une pièce éclairée, de garantir ses performances, de mieux préparer une démarche de certification environnementale.

I.14.2.2. En phase d'exploitation

Une fois le bâtiment construit, il est envisageable d'utiliser la maquette 3D en continuant à l'alimenter par les données issues de l'exploitation du bâtiment.

Le BIM est un moyen d'optimiser la performance énergétique et environnementale d'un bâtiment au stade le plus crucial de sa vie : en phase d'exploitation. En intégrant des capteurs et des compteurs au bâtiment il serait possible d'enrichir la maquette numérique de données recueillies lors de la vie de l'ouvrage comme par exemple son taux d'occupation ou les températures ressenties à l'intérieur.

Ces paramètres pourraient donc être utilisés dans le cadre de simulation afin d'optimiser cette fois-ci les règles des équipements.

Conclusion

La question de l'énergie et sa gestion est crucial, notamment dans le secteur du bâtiment, il devient communicant et intelligent.

Un bâtiment intelligent doit optimiser ses ressources, être économe, intégrer la question des énergies renouvelables et celle du stockage électrique.

Les notions du comportement énergétique et la sobriété énergétique sont des concepts incontournables dans la réussite des stratégies à basse consommation du bâtiment intelligent.

En effet, ce bâtiment s'appuie sur des matériaux, des façades et des systèmes intelligents. Le bâtiment devient plus léger, et a la capacité de changer ses caractéristiques en fonction des circonstances. Les appareils intelligents (smart devices) du bâtiment supposent que les habitants mettent en place des comportements vertueux, et en adéquation avec performances des appareils communicants, reste à voir si les usagers de ces espaces seront enclin de se transformer en « smart usagers » pour occuper des bâtiments communicants. C'est le point clé pour que les bâtiments de demain soient performants sur le plan énergétique.

Enfin, le progrès technologique, la pénétration des TIC dans le bâtiment (objets connectés, big data, BIM, etc.) sont de nouvelles perspectives majeures d'innovations qui s'ouvrent dans le secteur.

II DEUXIEME CHAPITRE : « MI Smart Incubator »
INCUBATEUR DE STARTUPS DANS LE DOMAINE DES
MATERIAUX INTELLIGENTS

Introduction

La démocratisation des nouvelles technologies a contribué à l'apparition des espaces d'un genre nouveau ou on crée volontairement un climat qui favorise l'échange, la création, l'innovation et l'entrepreneuriat, On parle « d'incubateur de startups ».

Intitulé « Incubateur de startups dans le domaine des matériaux intelligents », ce chapitre va démontrer qu'un incubateur a startups est la structure d'accompagnement idéale des entreprises innovantes naissantes.

Nous tenterons de définir l'innovation, de tracer les contours d'un espace physique qui favorisent la créativité, le partage entre les différentes disciplines, le suivi dont dépend le succès de ces startups, et nous analyserons en dernier des exemples de projet dédié exclusivement aux startups, mais qui s'inscrit aussi dans le domaine des NTIC.

Comme vu dans le chapitre précédent, un bâtiment intelligent vient apporter une nouvelle technologie afin d'optimiser les solutions passive et tenir part du développement durable. Cette notion commence à se généraliser dans les pays développés et elle est sensée être la solution de demain, pour un monde écologique et durable. Sur ce, notre recherche s'est portée sur les incubateurs de startup dans le domaine des matériaux intelligents permettant ainsi de concrétiser cette manière de construire, de la rendre possible et accessible en Algérie. Ces solutions technologiques permettront de répondre aux enjeux sociétaux de la construction des bâtiments de demain : efficacité énergétique, recyclage des matériaux, constructions plus saines.

II.1. Qu'est-ce que les matériaux intelligents

Un matériau intelligent est un matériau sensible, adaptatif et évolutif. Ils possèdent des fonctions qui lui permettent de se comporter comme un capteur²⁹, un actionneur³⁰ et parfois comme un processeur³¹. Il s'adapte et évolue en fonction de contraintes internes et/ou externes³². Il va donc s'adapter ou signaler un dysfonctionnement qui permettra d'engager des actions correctives ou d'amélioration.

Nous avons par exemple les matériaux à alliages à mémoire de forme. Ils sont composés de matières et particules qui répondent à une contrainte de pression ou de température.

²⁹ Détecter des signaux

³⁰ Effectuer une action sur son environnement

³¹ Traiter, comparer, stocker des informations

³² Les charge, traction, température, humidité...etc.

Où en est-on aujourd'hui en termes d'innovation pour les matériaux intelligents dans le domaine du bâtiment ?

Dans les années 80 démarra de la recherche et l'innovation pour les matériaux intelligents qui a fait part belle aux procédés chimiques et dérivés de l'industrie pétrochimique. Mais aujourd'hui, la recherche et l'innovation se tournent vers l'amélioration de notre impact sur l'environnement et l'impact de ces matériaux sur notre santé. Il se trouve d'ailleurs que l'un des chapitres importants de la recherche pour de nouveaux matériaux intelligents s'appuie sur la gestion des énergies, les économies et la production d'énergie verte³³.

Dans le domaine du gros œuvre de bâtiment, de nombreux matériaux intelligents existent déjà et sont en cours de popularisation permettant une architecture innovante, un bâtiment basse consommation d'énergie et plus sain pour ses utilisateurs.

Par exemple, Le béton qui s'autorépare est un de ceux qui prend son envol, dont la démarche repose sur l'utilisation de bactéries ou champignons sécrétant du calcaire. La présence des micro-organismes dans le matériau permet la réparation sans intervention humaine des micro fissurations, augmentant de manière sensible la durabilité du matériau.

L'utilisation de ce béton permettrait une réduction de 5%³⁴ les émissions de carbone dans le monde. La technologie du bio-béton permettrait également de réduire les coûts sur le long terme, tant dans la construction qu'en ce qui concerne notre empreinte écologique.

L'exemple du béton translucide de la société LICATRON est également un bel exemple d'innovation. Inventé par un architecte Hongrois, ce béton intelligent laisse passer la lumière grâce à ses fibres optiques intégrées, tout en préservant les qualités mécaniques d'un béton classique. Caractéristiques : transparence et esthétisme.

Les matériaux et équipements de second-œuvre ne sont pas en reste quant à la course à l'innovation. Il existe différentes gammes de pigments intelligents : thermochromie, photochrome voir photoluminescent. L'entreprise RENAUDIN PEINTURE³⁵ propose une

³³ Bâtiment et Energie, Energie Verte, dans environnement.Brussels,

URL : <https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/quest-ce-que-lenergie-verte>

³⁴ Les matériaux intelligents dans le domaine du BTP dans le site OPUSS. URL : <https://opussamo.com/les-materiaux-intelligents-dans-le-domaine-du-btp/>

³⁵ URL : <https://www.societe.com/societe/renaudin-331291401.html>

peinture chauffante pouvant permettre une température de surface de 20°C grâce à une alimentation de 12 volts uniquement. Ce produit est très utilisé par l'Armée Française. Son développement promet un grand succès.

Les menuiseries extérieures intelligentes sont aussi un sujet de grande innovation. Déjà largement connectées en domotique (ouverture / fermeture), elles sont capables maintenant de moduler leur opacité. Leur teinte change sous l'impulsion d'un courant électrique permettant une régulation de l'apport lumineux et thermique, comme la gamme Sage Glass de la société Saint Gobain³⁶.

Les statistiques montrent que les industriels ont pris conscience et investissent des budgets très importants pour la recherche et le développement dans ce domaine. Afin de rationaliser la consommation de ressources naturelles et d'émissions de CO2, et pour la fabrication, et la durabilité des bâtiments.

II.2. De la nécessité d'innover

II.2.1 Qu'est-ce que l'innovation ?

Selon le petit Robert : « Action d'innover ; chose nouvellement introduite ».

Ensemble de processus qui se déroule depuis la naissance d'une idée jusqu'à sa matérialisation (lancement d'un produit), en passant par l'étude du marché, le développement du prototype et les premières étapes de la production.

II.2.2 Quel est le processus de l'innovation ?

Il s'agit donc de :

- Trouver une idée et de définir un concept ;
- Vérifier si le projet est réalisable, viable et rentable ;
- Concevoir et élaborer les solutions techniques ;
- Mettre en place la production et surtout assurer sa mise sur le marché.

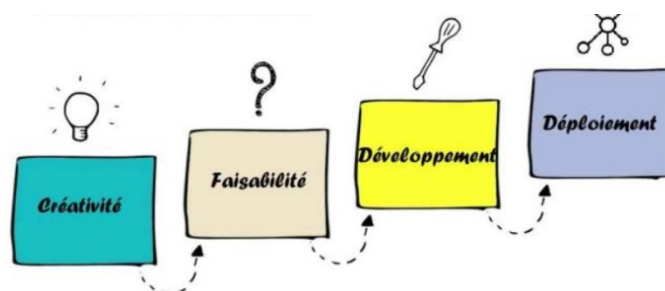


Figure 26 : processus d'innovation

Source : https://issuu.com/shemafakhfekh/docs/r_flexion_sur_un_espace_d_o-innov

³⁶ URL : <https://www.boursier.com/actions/societe/profil/saint-gobain-FR0000125007,FR.html>

II.2.3 Quels sont les Acteurs de l'innovation ?

Plusieurs acteurs sont à l'origine de l'innovation. Il s'agit aussi bien d'acteurs indépendants, que d'organisations :

- Les indépendants ;
- Les entreprises ;
- Les universités.
- Afin de créer un effet de synergie, il sera nécessaire de chercher à mettre en relation ces différents acteurs. Comment faire ?

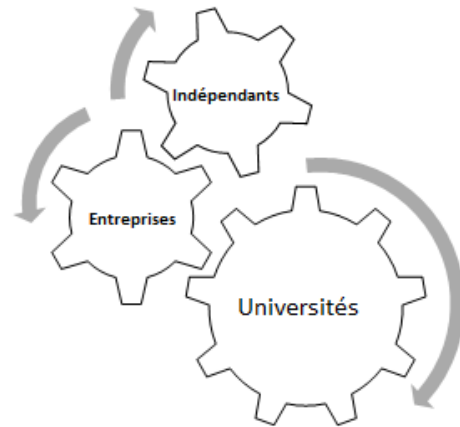


Figure 27: Mettre les acteurs de l'innovation en relation.

Source : Auteurs

II.3. Valorisation de la recherche universitaire

« La valorisation de la recherche est une activité qui consiste à augmenter la valeur des résultats de recherche et développement. Elle se comprend dans le cadre des politiques d'innovation, la valorisation est aujourd'hui une fonction reconnue de l'université dans le cadre des systèmes d'innovation »³⁷.

Cette définition précise que la notion de valorisation de la recherche est inhérente aux politiques d'innovation. Elle met également l'accent sur le rôle essentiel des universités dans ce processus. Comme évoqué plus tôt, l'université est un acteur principal de l'innovation par sa qualité de pilier de la recherche scientifique.

Il serait judicieux d'instaurer des partenariats entre universités et entreprises dans une optique d'aide mutuelle : les universités pourraient disposer de moyens de conception et de fabrication conséquents dans le but de réaliser maquettes et



Figure 28: Structure de proximité : monde universitaire/ monde professionnel.

Source : 2ei-edu.com

prototypes, et les industriels, quant à eux, pourraient faire appel à l'aide d'universitaires avérés pour solutionner d'éventuelles problématiques d'ordre technique ou scientifique.

³⁷ Manuel d'Oslo

Cette coopération doit trouver refuge dans un lieu physique. Lequel ?

II.4. Des espaces physiques dédiés à l'innovation

• La Startup en tant qu'entreprise innovante

L'innovation semble épouser une nouvelle manière de créer l'entreprise : « **La startup** ».

II.4.1. Qu'est-ce qu'une Startup ?

Selon Steve Blank :

« Une startup est une organisation temporaire à la recherche de modèle industrialisable et permettant une croissance exceptionnelle ».

Mot anglais composé de « Start » qui désigne le commencement et de « Up » qui désigne Le haut ou le sommet.

La Startup est donc une entreprise de petite taille en processus de construction qui ne s'est pas encore lancé dans le marché commercial.

II.4.2. Quel est le processus d'une Startup ?

La startup étant par définition une concrétisation de l'innovation, elle passe par :

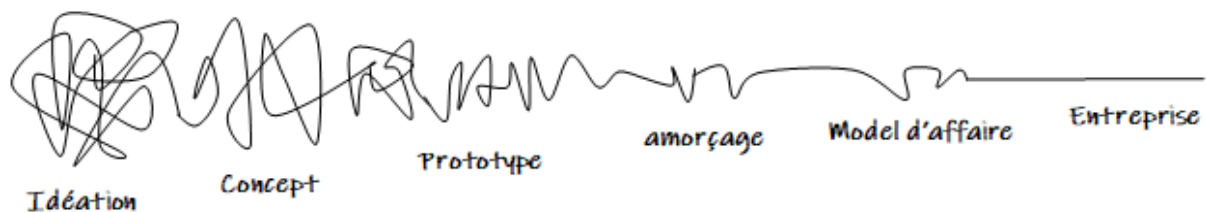


Figure 29: processus d'une startup.
Source : les auteurs.

Afin de réussir sa startup, il serait judicieux de répondre à certaines exigences :

- Originalité de l'idée ;
- Réponse à un besoin du consommateur ;
- Capacité de concurrencer ses rivaux s'ils existent.

II.5. L'union fait l'innovation

II.5.1. L'intelligence collective

Chacun ayant des compétences dans un domaine en particulier, l'échange et le partage produisent un résultat plus important : les intelligences ne s'additionnent pas mais se multiplient.

II.5.2. L'interdisciplinaire

Chacun ayant des compétences dans un domaine en particulier, l'échange et le partage produisent un résultat plus important : les intelligences ne s'additionnent pas mais se multiplient.

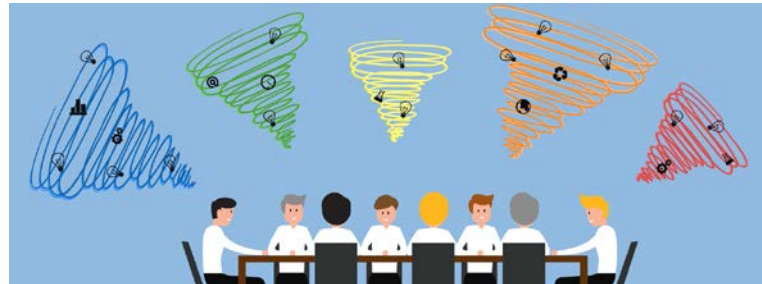


Figure 30: Le brainstorming

Source : <https://www.seemy.com/fr/2016/06/brainstorming-collecter-maximum-didees-minimum-de-temps.html>

L'une des pratiques qui nécessite ce travail interdisciplinaire est le **Brainstorming**.

Le Brainstorming est une technique qui facilite la production d'idées d'un individu ou d'un groupe. Son utilisation permet de trouver le maximum d'idées originales en un temps restreint.

- **La création de startups nécessite un espace dédié à l'innovation afin de réunir cette interdisciplinarité.**

II.6. Un incubateur de start-up comme réponse ?

II.6.1. Qu'est-ce qu'un incubateur de start-up ?

- Une structure d'accueil et d'accompagnement de projets de création d'entreprise ;
- Un centre, Une organisation qui offre des moyens commodes d'accueillir, conseiller et faire rencontrer les jeunes entreprises ;
- Il s'adresse à des sociétés très jeunes ou encore en création, et leur propose un ensemble de services adaptés ;
- Les incubateurs peuvent se différencier entre eux par les services qu'ils proposent, leur caractère lucratif ou non, ou encore le type de projets qu'ils ciblent.

II.6.2. À quoi sert un incubateur de start-up ?

Destiné aux projets innovants, l'incubateur de startup prend en charge tous les aspects de la « gestation » des startups,



Figure 31: rôle de l'incubation.
Source : les auteurs

c'est-à-dire à la concrétisation des idées innovantes prometteuses sous forme d'entreprise à succès.

La méthodologie d'accompagnement proposé par un incubateur s'appuie sur deux piliers indispensables à la réussite d'une entreprise :

a. La construction d'un business model

- L'entrepreneur doit décrire les activités et les ressources de son projet ;
- Qu'est-ce qu'il vend ? À qui ? Avec qui ? et de quel financement ?
- Afin d'assurer la rentabilité de sa future entreprise ;
- L'incubateur vient répondre à ces questions et mettre des hypothèses.

b. La constitution de l'équipe

L'incubateur aide l'entrepreneur à trouver les associés qui partagent ses valeurs et complètent ses compétences.

Il facilite donc aux jeunes entrepreneurs d'accès aux 3 indispensables à la création d'une entreprise :

- La finance ;
- Le soutien logistique ;
- Le conseil et la formation.

II.7. Les nouveaux espaces : Tiers lieux

II.7.1. Définition

La démocratisation des nouvelles technologies entamée au début des années 2000 a contribué à l'apparition de nouvelles formes d'espaces publics regroupés sous le vocable de tiers lieux.

Leur fonction principale est de stimuler les interactions sociales, de développer les rencontres, conversations, échanges, collaboration...

La notion du tiers-lieu englobe des espaces divers tels que **les coworking spaces**, **les fablabs** et **les livinglab**



Figure 32: Recette d'un tiers lieu
Source : blogmulticurieuse.wordpress.com





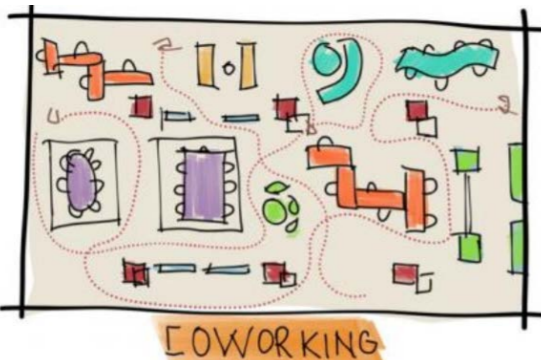
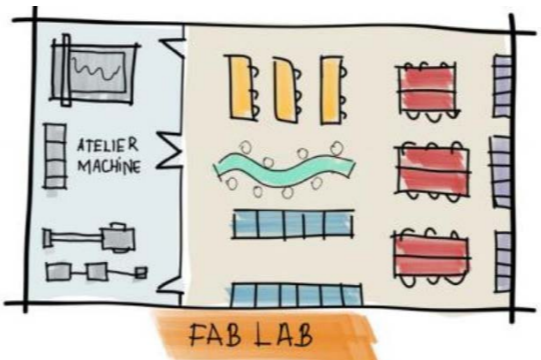
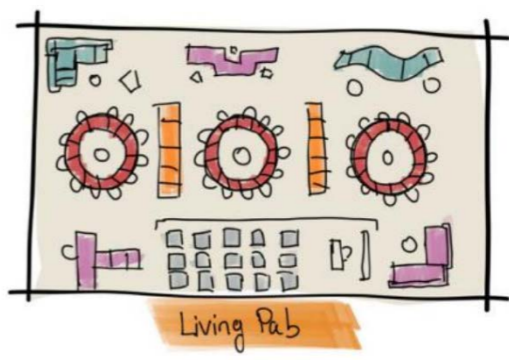
| | COWORKING | FAB LAB | LIVING LAB |
|------------------------|---|---|---|
| DEFINITION |  <p>Le « Coworking » signifie « Travailler ensemble », dans une nouvelle vision du travail caractérisée par l'autonomie et la collaboration ;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Un espace de travail partagé ; ➤ Un espace de proximité.  | <p>➤ Un laboratoire de fabrication numérique</p> <p>➤ Un lieu de conception, de création et de fabrication</p> <p>➤ Un lieu qui demande des machines à commande numérique « un découpage laser, une fraiseuse numérique, une défonceuse numérique...)</p> <p>➤ Des machines à outils, des outils manuels basiques.</p> <p>➤ On y trouve également du matériel électronique standard, ainsi que des outils de programmation.</p>  | <p>Il s'agit de sortir la recherche des laboratoires pour la faire descendre dans la vie de tous les jours, en ayant souvent une vue stratégique sur les usages potentiels de ces technologies.</p>  |
| PROFILS/USAGERS | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Des consultants ; ➤ Des Start-uppeurs ; ➤ Des Freelance (travailleurs indépendants) ou nomades. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Des étudiants ; ➤ Des bricoleurs ; ➤ Des artistes ; ➤ Des professionnels... | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Des professionnels ➤ Des entreprises ➤ Des créateurs ➤ Des citoyens... |
| CONFIGURATION SPATIALE |  |  |  |
| PROGRAMME | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Plateau libre en Open Space ; ➤ Espace de travail partagé ; ➤ Aménagement flexible et modulaires ; ➤ Salon et Espaces de détente ; ➤ Salle de réunion ; ➤ Salle de conférence. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Un espace compartimenté fermé pour les machines (bruyantes, dangereuses...). ➤ Des bureaux pour réunions ou travail ; ➤ Un espace de présentation de projet ; ➤ Des espaces de travail partagé ➤ Des stations PC ➤ Des espaces de stockage (matériau thème) ➤ Café, Cuisine. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Des espaces de réunions ; ➤ Des tables rondes ; ➤ Des salons et des espaces de rencontres. |

Tableau3:Les tiers-lieux.

Source : Auteurs.

II.7.2. Exemple de Coworking : Yuanyang Express Coworking Space

a. Fiche technique

Localisation : Sanyuanqiao, chine

Superficie : 800 m²

Architecte : MAT office

Date :2015



Figure 33: Vue intérieure du coworking We+
Source : www.archdaily.com

b. Spatialité

L'espace de Coworking We+ offre une nouvelle tendance d'espace de travail et d'activité hors du commun c'est un environnement flexible, de partage qui couvre deux niveaux.

Cet espace offre une plateforme de collaboration et d'échange ouverte au RDC C'est un espace ouvert : il offre des espaces de consommations, des espaces de travail, des cabines pour plus de confidentialité, de concentration et des espaces d'exposition (4 unités d'affichage pour les présentations en groupe).

Ce qui nous intéresse ici, c'est la fluidité et l'ouverture de ce plan. Peu de délimitations existent dans cet espace, ce qui facilite le tissage de liens sociaux et donc l'échange

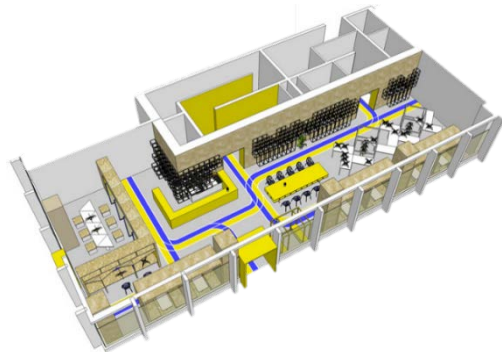


Figure 34: Axonomie du RDC
Source : www.archdaily.com



Figure 35: Plan du RDC
Source : www.archdaily.com

❖ L'introduction de la couleur pour animer et revitaliser l'espace

On remarque l'omniprésence du *jaune* qui est une *couleur chaude* qui apporte une touche de *lumière* sans déranger l'utilisateur. Un escalier peint en jaune clair menant jusqu'au sous-sol et au 1er étage. Ce niveau souterrain présente un espace de travail commun entouré par des espaces de détente.



Figure 36: Vue intérieure du coworking We+

❖ L'insertion de boîtes modulaires à l'intérieur de l'espace commun.

Ces boîtes sont des cellules d'études réservées aux réunions ou au travail individuel.

Ces espaces ont des parois transparentes pour une meilleure insertion et interactivité entre les Coworkers.

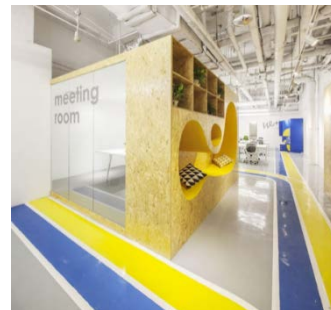
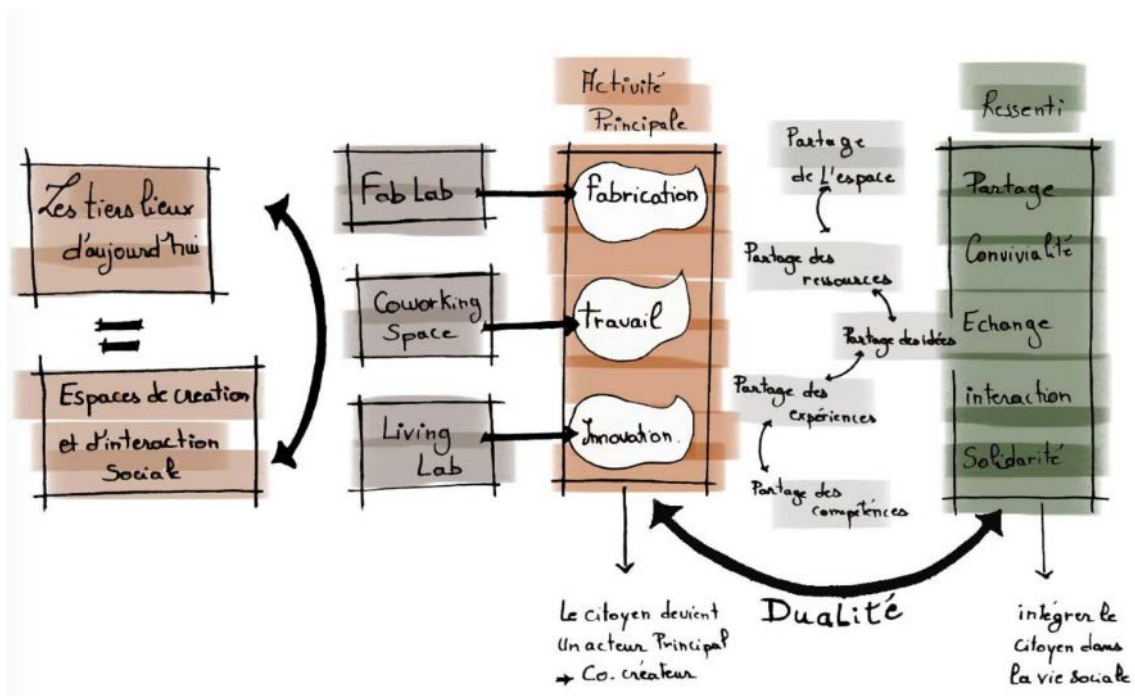


Figure 37: Vue intérieure du coworking We+

II.7.3. Synthèse



II.8. Analyse d'exemples

Notre choix d'exemples s'est fait par rapport à :

- Similarité thématique
- La richesse architecturale et programmatique
- La conception bioclimatique
- Le concept du Smart building et son efficacité énergétique

II.8.1. Exemple 01 : New Orleans Bio Innovation Center (NOBIC)

II.8.1.1 Fiche technique

Emplacement : 1441, rue Canal/ La Nouvelle-Orléans Louisiane 70112, États-Unis

Date d'achèvement du projet : Août 2011

Contexte / configuration du site du projet : Urbain / Site de friche industrielle

Type de projet : Laboratoire/Bureau

Surface du projet : 5600m²



Figure 38: New Orleans Bio Innovation Center.
Source : www.aiatopten.org.

Ce laboratoire / bureau à but non lucratif sert d'**INCUBATEUR** pour les **STARTUPS BIOTECHNOLOGIES**; aider les idées conçues localement à devenir des emplois et des industries locales.

II.8.1.2 Le contexte d'implantation

Une structure de quatre étages de 5600m² adjacente au quartier français historique de la Nouvelle-Orléans, aux campus universitaires du centre-ville et au quartier de Tremé. Construit sur une friche industrielle, ce centre de recherche LEED-Gold est conçu comme «**l'acupuncture urbaine**», un projet modeste qui a contribué à la revitalisation d'un quartier, générant plus de 200 emplois.



Figure 39: Plan de masse du New Orleans Bio Innovation Center
Source : www.aiatopten.org

Le plus grand défi était de créer un laboratoire à faible énergie dans un climat chaud et humide, une construction non seulement fonctionnelle mais aussi belle, moderne et élégante qui se distingue de son environnement.

II.8.1.3 Espaces et fonctionnement

Le projet se développe en quatre (04) niveaux le RDC se compose d'une salle de conférence pour plus de 100 personnes, une cafeteria, l'administration, sale technique pour le bon fonctionnement du building ainsi une cour-jardin.

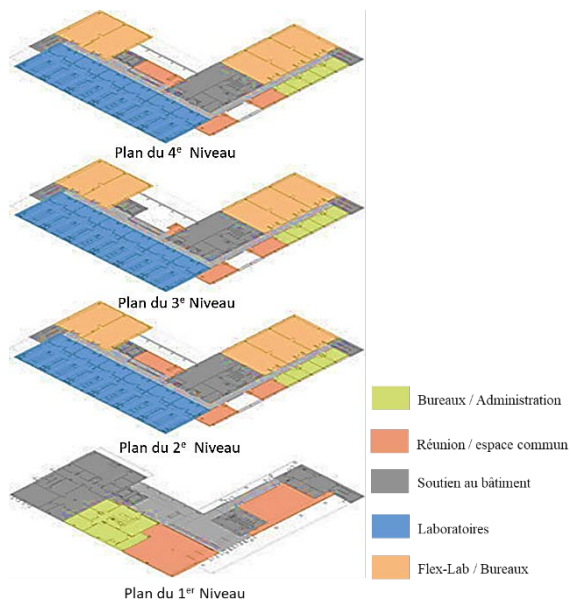


Figure 40: Axonométrie des plans de NOBIC.
Source : www.aiatopten.org

Plan du rez-de-chaussée

On remarque le plan est divisé en trois entités les espaces communs qui sont en relation avec la cour, espaces technique et mécanique en relation avec le parking et l'administration qui vient articuler entres eux.

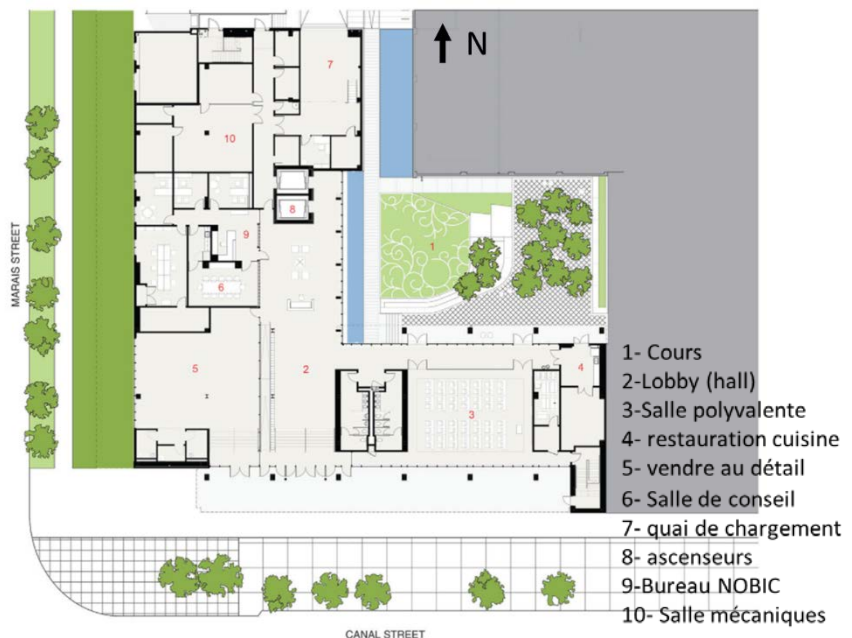


Figure 41: plan rez-de-chaussée NOBIC
Source : www.aiatopten.org

II.8.1.4 Aspects bioclimatiques

Les persiennes déployées de manière ludique permettent à la façade sud-ouest de Canal Street d'être en verre à 63 % tout en bénéficiant du gain solaire d'été d'une façade avec seulement 20 % de verre, mais aussi pour faire référence aux Volets des maisons traditionnelles de la Nouvelle-Orléans



Figure 42: Façade munie de brises soleil (Inspiré des volets traditionnels de la nouvelle-Orléans).
Source : www.aiatopten.org

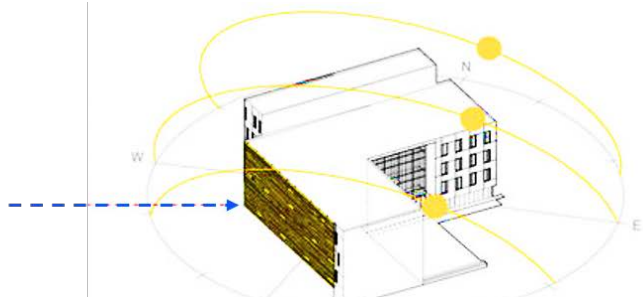


Figure 43: Vue de l'intérieure
Source : www.aiatopten.org

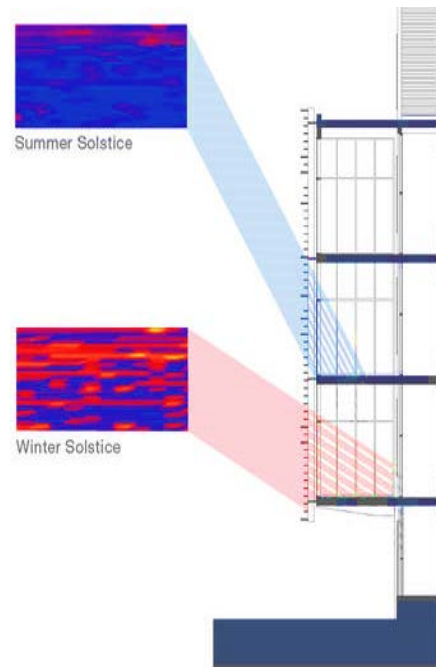


Figure 44 : Photo prise par une caméra thermique de la façade Sud-Ouest.
Source : www.aiatopten.org.

Tandis que l'autre zone de vitrage étendu (l'atrium) relie les espaces sociaux à la cour via un exposition nord-est. Le bâtiment est doté d'une peau efficace utilisant stratégiquement des vitrages à contrôles solaire, ce qui garantit le contrôle du flux d'air, la température et l'éclairage pour pratiquement chaque espace, ce qui fait de ce bâtiment une construction à faible consommation énergétique (il consomme moins de 82 % d'énergie qu'un bâtiment laboratoires typique.), la toiture est dotée de panneaux photovoltaïques pour la production de l'électricité.

II.8.1.5 Récupération des eaux pluviales

L'écoulement de l'eau à travers le site est traité comme une opportunité de conception. Une «pièce d'eau de travail» capte l'eau de pluie et la diffuse dans les plantes et les sols du site, évoquant l'écoulement de l'eau dans l'écosystème régional. La pièce d'eau est également alimentée par le condensat de climatisation (jusqu'à 20 000 gallons par semaine!), Qui fournit toute l'irrigation du paysage sur place.

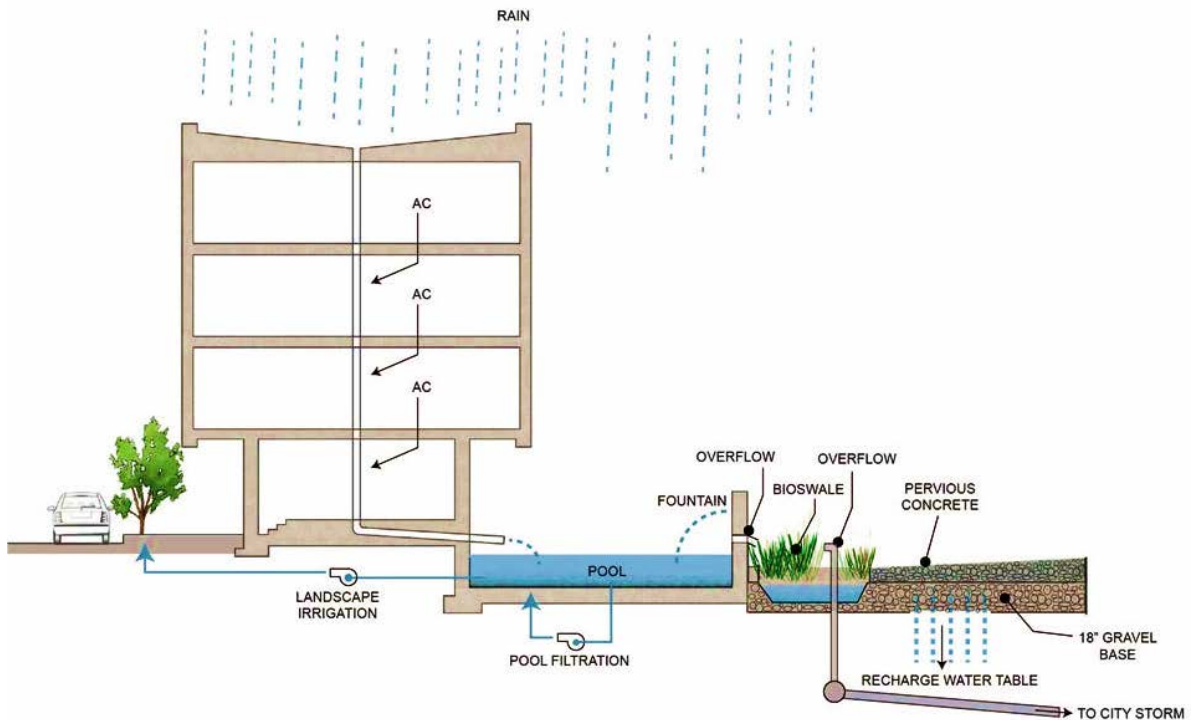


Figure 45: Le système de récolte des eaux pluviales.

Source : www.aiatopten.org

les eaux de la toiture sont récoltes dans une fausse qui permet la Bio filtration par des plantes aquatiques, puis elles sont diffusées aux plantes et aux sols sur site, évoquant l'écoulement de l'eau dans l'écosystème régional.

L'utilisation du béton caverneux ou béton drainant qui est un béton de ciment à structure ouverte permettant l'infiltration de l'eau de pluie. Le nom de ce béton provient des vides qu'il contient qui ressemblent à des cavernes. Ces vides ont une dimension allant de 10 à 30 mm.



Figure 46: Béton caverneux.

Source : www.aiatopten.org

II.8.1.6 Design et innovation

Le système de revêtement extérieur garantit l'utilisation minimale des matériaux tout en assurant une durabilité avec une faible maintenance, en utilisant un système hybride d'un panneau de mur préfabriqué « Slender Wall » en béton léger stabilisé par un cadre en acier de faible épaisseur. Une grande partie du béton est composé de matériaux recyclés.



Figure 47: Vue sur la cour extérieure paysagère.
Source : Source : www.aiatopten.org.

On y trouve aussi l'utilisation du verre recyclé dans différentes parties du projet à savoir le mur en verre du hall d'entrée qui est une œuvre artisanal.



Figure 48: Vue sur le mur du hall d'entrée
Source : www.aiatopten.org

II.8.2. Exemple 02 : Centre d'innovation UTC (Compiègne université of technology)

II.8.2.1.Fiche technique

Localisation : 66 Avenue de Landshut, UTC université de technologie de Compiègne, centre pierre Guillaume, 60200 Compiègne, France.

Superficie : 5200m²

Architecte : Ameller Dubois & associés

Inaugurer : en 2014



Figure 49: Perspective du centre d'innovation UTC.
Source : www.divisare.com

II.8.2.2.Organisation Spatiale

Le bâtiment est constitué de plateaux sur trois niveaux :



Figure 50: Plan du Rez-de-chaussée.
Source : www.divisare.com



Figure 51 : Plan du R+1
Source : www.divisare.com



Figure 52: Plan du R+2
Source : www.divisare.com

Le centre de formation UTC est à la fois une plateforme de recherche, une unité de formation, un espace de valorisation industrielle et de transfert technologique pour la conduite de projets collaboratifs. Son but est d'accompagner le processus de création et de développement des nouveaux entrepreneurs et des « startups ».

Des vastes espaces de convivialité ont également été aménagés pour faciliter la rencontre et le partage entre les différents acteurs du centre, et pour imaginer des projets participatifs pluridisciplinaires.

II.8.2.3. Façades

Ses façades sont habillées de panneaux en bois constituant, au gré des besoins et des orientations, des brise-soleils des capacités ou de simples encadrements de baies.



Figure 55: Vue extérieure plein / vide



Figure 54: Brise soleil
Source : www.divisare.com

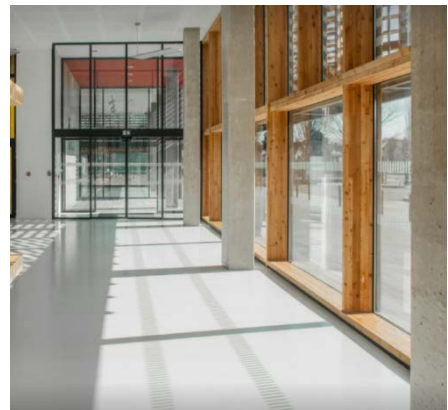


Figure 53: Effet de la lumière à l'intérieur du centre d'innovation UTC

II.8.3. Exemple 03 : Media-Tic

II.8.3.1. Fiche technique

Typologie: Entrepôt industriel Incubateur d'entreprises Industrie commerciale / de bureau

Architecte: Enric Ruiz Geli (Cloud 9)

Emplacement: Barcelone. Espagne

Inaugurer : en Mars 2010

Superficie : 3572 m²

Étages: 8



Figure 56: Perspective de la Media-TIC
Source : <https://fr.wikiarquitectura.com/b%C3%A2timent/media-tic/>

II.8.3.2. Contexte d'implantation

Conçu comme un entrepôt industriel de l'ère numérique, le Media TIC apparaît comme une icône qui réconcilie le passé industriel du quartier 22@ de Barcelone et son avenir technologique. S'inspirant du monde électronique et construit à l'aide de processus CAO/FAO innovants, le bâtiment tente de devenir un espace de référence au niveau européen dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (TIC), mais aussi un nouvel emblème pour la ville

Le bâtiment est conçu comme le forum des citoyens pour la communication et le point de rencontre des entreprises et des institutions dans le monde des technologies de l'information et de la communication à Barcelone, ainsi que le secteur moyen ou audiovisuelle.



Figure 57: Vue aérienne

Source : <https://fr.wikiarquitectura.com/b%C3%A2timent/media-tic/>

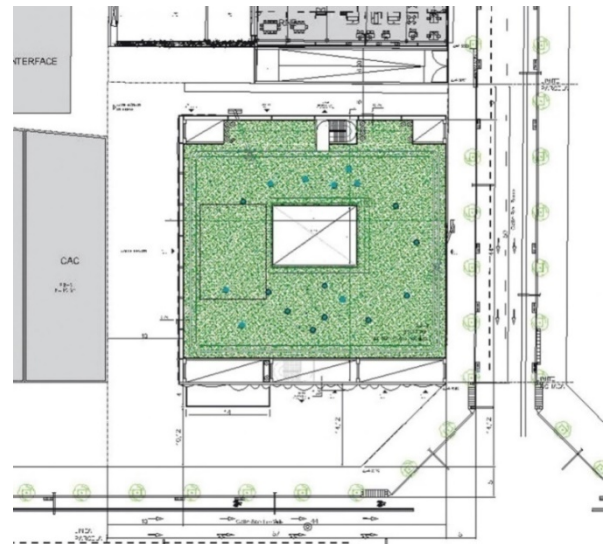


Figure 58: Plan de masse

Source : <https://fr.wikiarquitectura.com/b%C3%A2timent/media-tic/>

II.8.3.3. Que trouve-ton a Media-TIC ?

le bâtiment de huit niveaux et d'une hauteur de 38 m sera séparé en sections de densité variable, (offrant une surface totale de 23 104 m² et une capacité d'occupation de 2418 personnes) :



Figure 59: Les différentes sections de la Media-tic.
Source : <https://fr.wikiarquitectura.com/b%C3%A2timent/media-tic/>

- les trois derniers etages sont gérés par le CZFB et offertes en location à des entreprises et des institutions.
- Les quatre différents incubateurs alvergan central des affaires et un espace pour développer des programmes d'atterrissage.
- La Maison des TIC, au rez-de-chaussée, deviendra un équipement de citoyen et d'exposition dédié à l'apprentissage des TIC.
- Sous-sol pour le parking

II.8.3.4. Concept

Maintenant, à l'ère de l'information, l'architecture doit être une plate-forme technologique, où ce qui importe sont les bits, la connectivité, les nouveaux matériaux, les nanotechnologies...

Les connexions sont plus importantes que le poids des matériaux. C'est un monde électronique, immatériel, dans lequel c'est la conception du réseau, pas la gravité.

Le projet ICT MEDIA CLOUD 9 est une **Architecture numérique**, construite à travers des processus numériques de **CAD-CAM**.



Figure 60: Façades de la Media TIC
Source : <https://fr.wikiarquitectura.com/b%C3%A2timent/media-tic/>

La façade du MEDIA-TIC n'explique pas la construction Série industrielle, mais elle évolue et explique la construction numérique, la construction de l'information. C'est un « Bâtiment digital » avec une façade complexe contemporaine.

II.8.3.5. Plans et fonctionnement

Le rez-de-chaussée, zone de densité zéro, offrira un espace ouvert et abritera le centre tic une zone d'exposition des communications ouverte au public le hall, la réception, les bureaux de réception et le restaurant. L'accès à ce niveau se fait par les deux façades exposées au soleil.

- Direction
- Administration
- Réunion
- La gestion

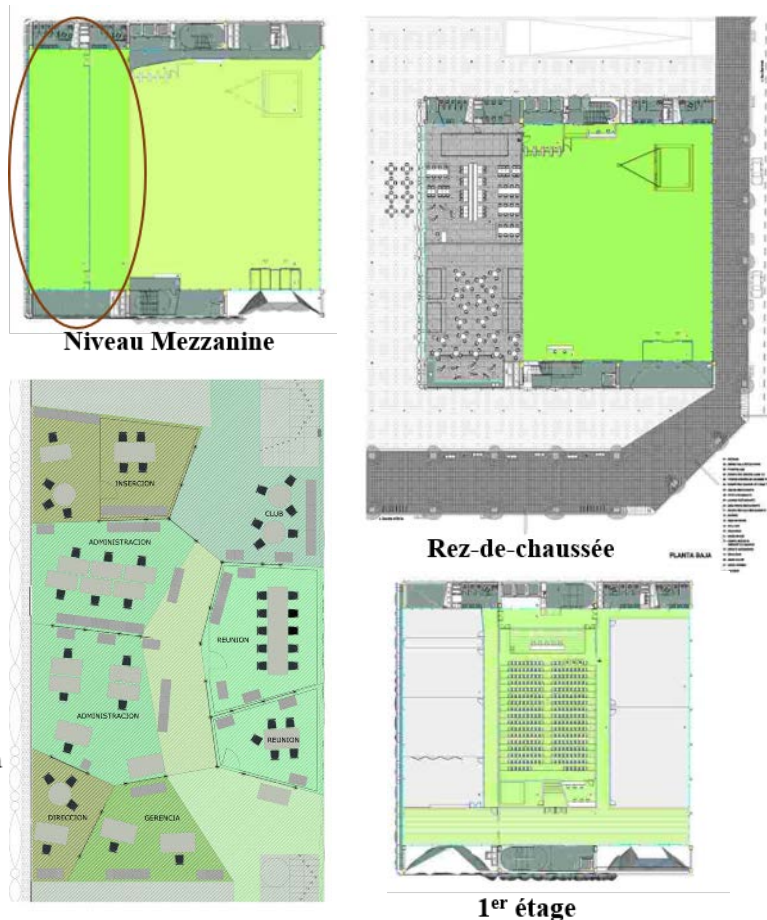


Figure 61: Plans du RDC et du 1er étage

Source : <https://fr.wikiarquitectura.com/b/%C3%A2timent/media-tic/>

Les 4 étages supérieurs sont de petits espaces pour les entreprises de démarrage se trouvent au-dessus d'une salle de 300 places et d'espaces d'éducation Internet (premier étage).

Les 3 derniers étages sont des bureaux de location pour les entreprises de TIC.

II.8.3.6. Peau vivante ETFE

Outre ces systèmes d'économie d'énergie, la partie la plus représentative de cet effort sont les façades, étudiées indépendamment selon leur orientation. Les plus exposés sont revêtus de coussins ETFE avec deux brevets différents :

- Le système « nuage » dans ceux de la façade sud-ouest, rempli d'une combinaison d'air et d'azote qui utilise la densité de l'air comme filtre solaire ;
- Le système « diaphragme », dans les sud-est, avec trois couches d'ETFE avec une pression constante et une circulation d'air variable entre les chambres.

La couche extérieure est transparente, tandis que la couche centrale et la couche intérieure ont un motif qui, grâce à **un système pneumatique**, forme une couche opaque. Les coussins sont **anti-adhésifs**, ils ne demandent donc pas d'entretien de nettoyage et ne perdent pas d'élasticité, de transparence et de dureté avec le temps.

Le bâtiment recherche l'autosuffisance énergétique, pour laquelle il dispose d'un **toit écologique** avec **des panneaux photovoltaïques orienté vers le Sud-Est** qui peuvent produire 29.000kWh par an, économisant jusqu'à 18,8 tonnes d'émissions de CO2 dans l'atmosphère (Voir figure 57 : plan de masse).

De la même manière, son intérieur dispose de capteurs pour contrôler la lumière et la température en fonction de l'occupation.



Figure 63: Les capteurs pour contrôler la lumière et la température
Source : <https://fr.wikiarquitectura.com/b%C3%A2timent/media-tic/>

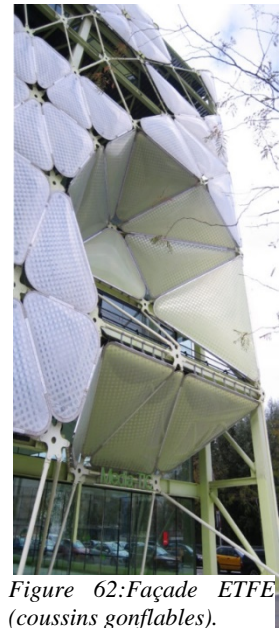


Figure 62: Façade ETFE (cousins gonflables).

II.8.3.7. Chauffage et refroidissement urbain du projet

C'est le premier système de chauffage et de refroidissement urbain en Espagne. Il alimente l'énergie d'une centrale électrique de chauffage et de refroidissement utilisant des énergies renouvelables telles que la vapeur de refroidissement et une source de chaleur résiduelle (Flux).

1. Modules photovoltaïques
2. Green Roof
3. Plateforme de travail suspendue pour l'entretien et le nettoyage
4. Alimentation en air Façade Sud-Est :

➤ *Coussins de type A* : 3 couches avec protection solaire pneumatique. Permet d'ajuster la transmittance solaire à 65% ou 45%. Chaque coussin est actionné individuellement par un capteur de lumière. La

programmation de chacun peut être manipulée via une adresse IP

➤ *Coussins de Type B* : 2 couches. Une extérieure imprimée de cercles argentés, une autre intérieure : feuille ETFE teintée en vert. Transmission solaire env. 55%

➤ *Coussins Type C* : 2 couches. Extérieure transparente, couche intérieure feuille ETFE teintée verte. Émetteur solaire env. 65%

➤ *Coussins de Type D* : 2 couches. Impression transparente de la couche extérieure de cercles argentés négatifs. Transmission solaire env. 50%

5. Façade sud-ouest La protection solaire est réalisée via un système qui injecte du brouillard dans le coussin. Ce système fournit un ombrage variable qui réduit le gain de chaleur solaire jusqu'à 90%.

6. Bouteille d'azote

7. Séparateur de brouillard d'huile

8. Système de génération de brouillard / système de fumée concept vicount 80

9. Ventilateur axial à boîtier circulaire

10. Unité de gonflage

11. Luxmètre directionnel/ fonctionnement du système de brouillard

12. Ordinateur central du bâtiment/ gestion

13. Peinture bioluminescente appliquée à la structure primaire.

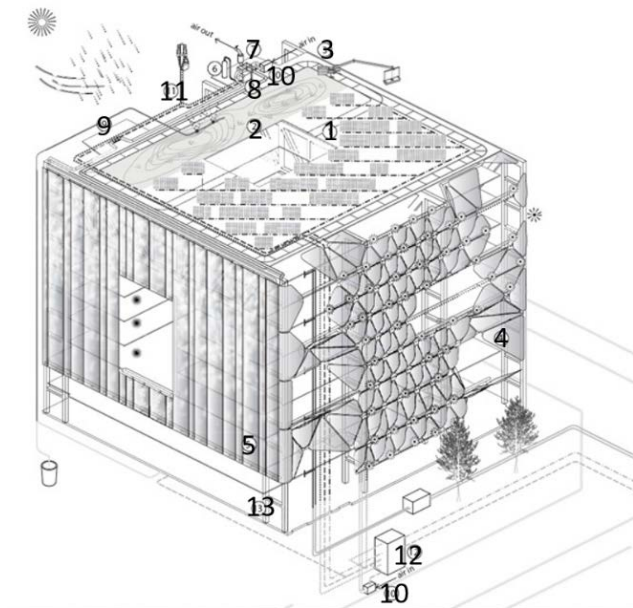


Figure 64: Les systèmes de chauffage et de refroidissement.

Source : <http://spasosarquitectonicos.blogspot.com/2012/06/edificio-media-tic-barcelona-espana.html>

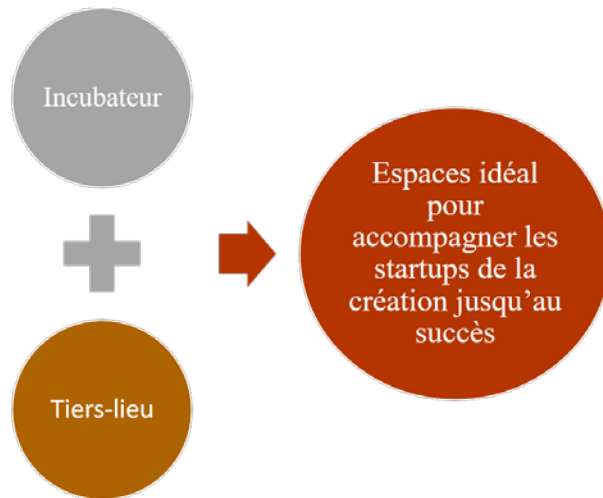
Conclusion

La révolution numérique a engendré une nouvelles formes d'interactions humaine. De nouveaux espaces de travail et de partage et de nouvelles activités basées sur les innovations technologiques.

Cette révolution a touché aussi à l'aspect technique et

esthétique du bâtiment avec le développement de la domotique. Ce développement a permis d'avoir un bâtiment intelligent et connecté par rapport à son environnement.

D'après l'analyse thématique effectuée et les différents exemples analysés, on a fait ressortir les grandes fonctions liées à notre projet d'incubateur de startups dans le domaine des matériaux intelligents intitulé « MI Smart Incubateur » qui s'organisera autour de trois entités principales à savoir entité d'interaction et de diffusion, entité de partage d'innovation et de développement, entité de fabrication et de prototypage. Cette première tentative de programmation va nous servir d'appui à la conception de notre projet. Un programme qualitatif est présenté dans le tableau ci-dessous :



| Espaces | Qualités et exigences spéciales |
|--|--|
| 1- Unité d'interaction et de diffusion | |
| Hall d'accueil | -Grand espace en hauteur et profondeur ; -Bon éclairage ; -Une aire chaleureuse. |
| Espace d'exposition | -Grand volume en hauteur et en longueur ; -Eclairage artificiel et naturel pointé selon le besoin ; -Présentation des créations et inventions. |
| Auditorium | -Grand espace ; -Un plan qui dirige la vue vers un seul point qui est la scène ; |

| | |
|---|--|
| | - Eclairage minimal contrôlé. |
| Espace polyvalent | -Espace chaleureux, lumineux, grand. |
| Espace de consommation | |
| Sanitaires | |
| 2- Unité de partage, d'innovation et de développement (Coworking) | |
| Espace de travail partagé ouvert | -Open-space, libre, -Un aménagement qui permet aux différents intervenants de se réunir autour de tables rondes afin de présenter discuter sur un sujet |
| Espace de travail collaboratif | -Espace chaleureux, accueillant et bien éclairé. -L'usage de couleurs qui stimule la créativité et garantissent une bonne luminosité. |
| Espace de présentation | -Espace plutôt calme -Un éclairage dirigé et contrôlé. |
| Salle de réunions | -Espace fermé, de travail en groupe, autour d'une table. -L'usage de couleurs qui stimule la créativité et garantissent une bonne luminosité. |
| Salon de détente | -Espace chaleureux, lumineux, grand. |
| Sanitaires | |
| 3- Unité de fabrication et de prototypage (relative aux matériaux Intelligents : Fab-Lab et laboratoires) | |
| Espace de travail partagé | |
| Espace de travail individuel | -Bureaux individuel - L'usage de couleurs qui stimule la créativité et garantissent une bonne luminosité. |

| | |
|--|---|
| Espace bibliothèque | -Espace calme -bonne luminosité. |
| Salle d'informatique | -Sécurité pour protéger les station PC. |
| Salle machines (imprimante, découpage laser...) | -Une bonne isolation acoustique -Un éclairage artificiel |
| Salle de formation | - Éclairage neutre.et constant assuré beaucoup plus avec l'éclairage artificiel. |
| Salle de réunion | -Espace fermé, de travail en groupe, autours d'une table. -L'usage de couleurs qui stimule la créativité et garantissent une bonne luminosité. |
| Salle de présentation | -Espace plutôt calme -Un éclairage dirigé et contrôlé. |
| Salon de détente | -Espace chaleureux, lumineux, grand. |
| Laboratoire de modélisation numérique des matériaux intelligents et structure du génie, | -système de sécurité pour protéger le matériel informatique. -un éclairage neutre et constant. |
| Laboratoire de programmation, de développement du logiciel et technologie de l'information | |
| Laboratoire des matières organique | -Eclairage naturel et artificiel neutre. |

| | |
|---|--|
| Laboratoire des matériaux intelligents bio-inspirés | -Prévention des vestiaires, et douches -Espace lave œil dans le laboratoire |
| Laboratoire de chimie inorganique et application | -Climat favorable à la préservation des produits chimiques. |
| Laboratoire de physique des matériaux intelligents | -système de sécurité pour protéger le matériel informatique. |
| Laboratoire d'essai sur les matériaux intelligents | -un éclairage neutre et constant. -une bonne isolation acoustique. |
| Laboratoire d'analyse des résultats | |
| Bureaux des chercheurs | -Eclairage naturel et artificiel neutre.et dirigé. |
| Sanitaires | |
| 4- Unité administrative | |
| Bureaux du directeur | -Eclairage naturel et artificiel neutre.et dirigé. |
| Secrétariat | |
| Service finance et comptabilité | |
| Salle d'archives | |
| Sanitaire | |

Tableau 4: Programme qualitatif
Source : auteur

III TROISIEME CHAPITRE : Etude contextuelle et climatique

Introduction

Une étude approfondie du contexte s'impose avant l'élaboration de tout projet architectural, dans la vue d'une meilleure compréhension du milieu dans lequel il s'insère. Dans la quête d'un site d'intervention favorable à la réalisation d'un projet architectural d'innovation qui s'inscrit dans la conception environnementale, en utilisant les nouvelles technologies de l'information et de la communication. Notre choix s'est porté sur la commune de Boumerdes pour la présence d'une communauté universitaire dans l'objectif de concevoir notre projet « d'incubateur de startups ».

Ce présent chapitre est donc consacré à la connaissance des contextes de notre projet d'architecture. Il est question, dans un premier temps, de définir les aspects qui caractérisent le contexte global qui est la ville de Boumerdes. Puis, dans un second temps, nous approfondirons notre lecture contextuelle au niveau de l'échelle du quartier et nous finirons par une étude bioclimatique du site réduit de l'intervention.

III.1. Présentation de la ville de Boumerdes

La wilaya de Boumerdes, dont le chef-lieu se situe à 50 Km à l'est de la capitale, occupe une assiette qui s'étend de l'Atlas Tellien aux collines de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Elle est située sur le littoral centre du pays et dispose d'une façade maritime de 120km, ce qui lui procure un climat modéré, un été chaud et un hiver doux avec un taux d'humidité relativement haut.

III.2. Limites et accessibilité de la commune de Boumerdes

Commune de Boumerdes occupe une surface de 2040 Ha, elle est desservie par un certain nombre de voies qui lui assure une bonne accessibilité, la voie ferrée, la R.N. 5, qui lui permet une liaison interrégionale à travers la bretelle de Corso R.N.5A, et celle de Tidjelabine C.W.146, et la R.N. 24 qui la traverse d'est en ouest.



Figure 65: Carte d'accessibilité à la commune de Boumerdes.
Source : GoogleMap traité par les auteurs

III.3. Les données naturelles

III.3.1. La sismicité

Boumerdès faisait partie de la zone II avec une sismicité moyenne à forte, mais après l'avenue du séisme du 21 mai 2003, la commune a été classée par le groupe technique spécialisé (G.T.S.) comme zone III à sismicité élevée et dommages notables.

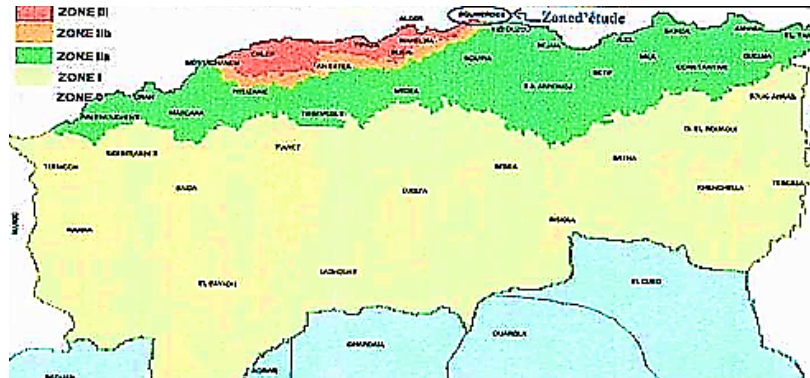


Figure 66: Carte de zonage sismique du territoire national - RPA 99. Source : Centre National de Recherche Appliquée en génie parasismique

III.3.2. Topographie et hydrographie

La lecture de la carte des pentes nous a permis de classer le territoire de la commune de Boumerdès selon trois catégories :

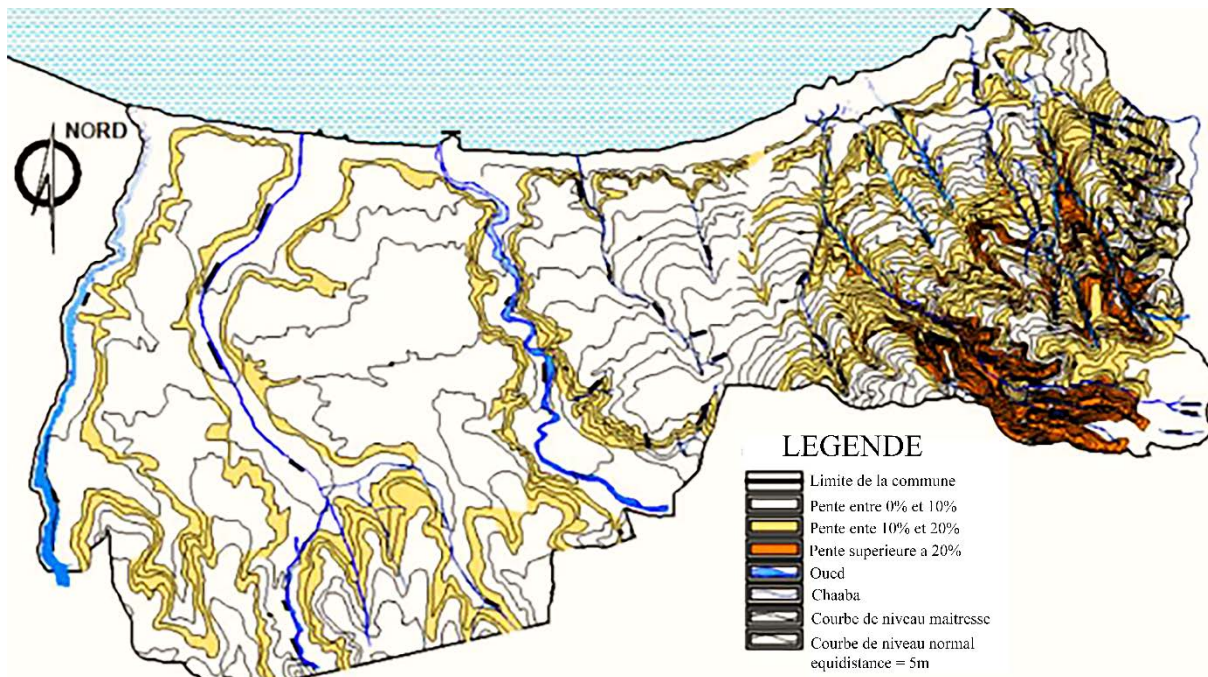


Figure 67: Carte topographique de la commune de Boumerdes. Source : Révision du PDAU de Boumerdes, édition finale.

- *1ère catégorie (Pente entre 0% et 10%)* : cette catégorie regroupe les terrains de faibles pentes qui représentent 60% de la surface totale de la commune.

- 2ème catégorie (Pente entre 10% et 20%) : regroupe les terrains de moyennes pentes, localisés dans les parties sud et est de la commune, ils représentent 30% de la totalité du territoire communal.
- 3ème catégorie (Pente >20%) : représentant les terrains à fortes pentes, elle occupe 10% du territoire communal, à proximité des oueds et du côté des forêts.

Le réseau hydrographique de la commune de Boumerdès est très dense, nous relevons trois oueds principaux : Oued Boumerdès, Oued Corso et Oued tarte.

III.3.3. La Végétation

Bien que la ville est considéré comme étant office de recherche et cité dortoir, mais elle ne manque d’offrir de la détente par la présence de la mer en premier lieu, et par les espaces verts dédiés au loisir des habitant et de tout visiteur.

Des arbustes viennent ornementer les bordures de rues permettant de structurer non seulement les parcours, mais aussi les différentes entités , tout en créant un équilibre naturel/ bâti.



Figure 68: Vue de l'intérieur de l'ENIM.
Source : Auteurs

III.4. Lecture urbaine

III.4.1. Les différents secteurs à l'échelle de la ville

Boumerdes bénéficie d’un nombre important d’équipements de divers secteurs d’activités, dont le rayon d’influence dépasse largement le cadre de la commune.

L’agglomération chef-lieu situé à l’ouest de Boumerdes c’est le centre-ville de la commune, caractérisé par une forte concentration d’infrastructure à pouvoir purement administratif, et à vocation scientifique vu le nombre d’instituts recensés. Aussi nous enregistrons de l’habitat individuel et collectif.

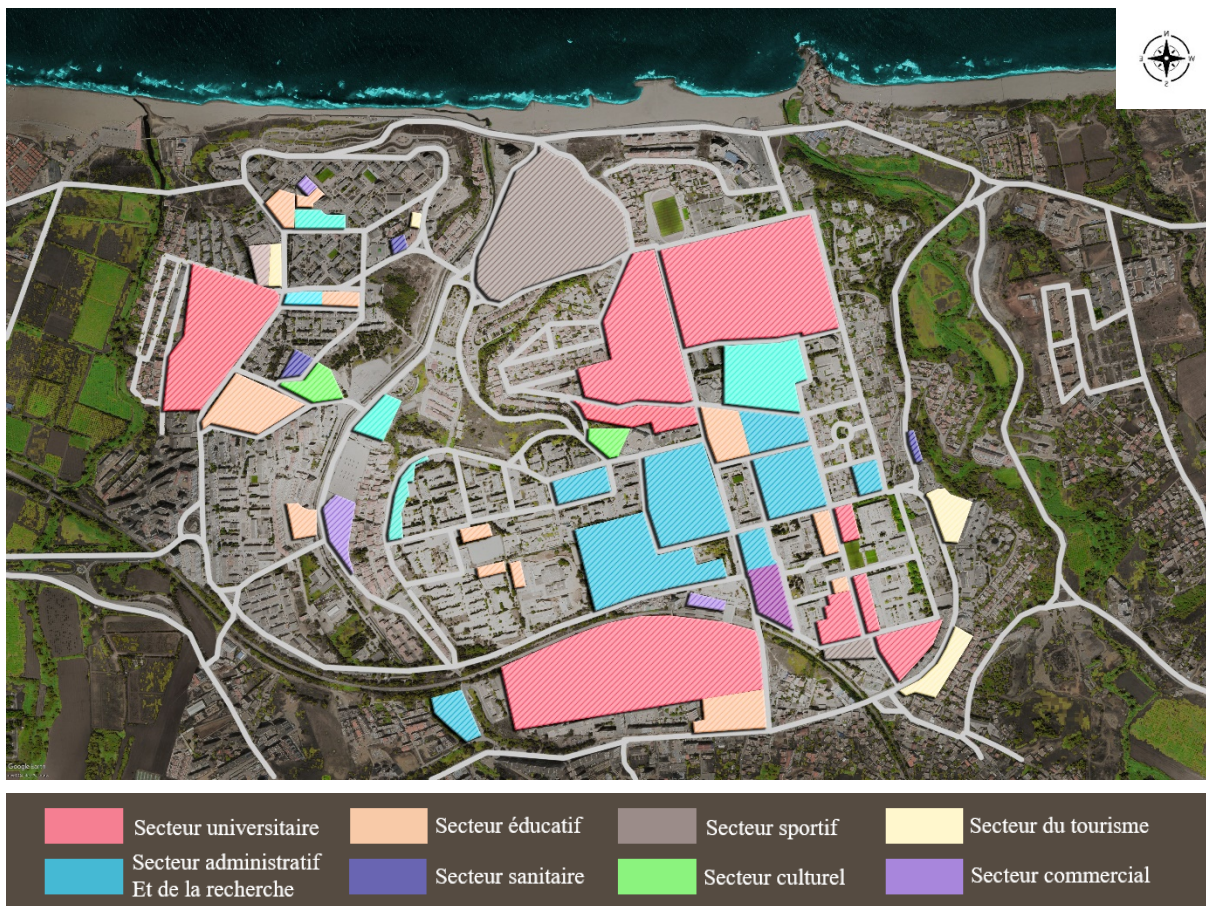


Figure 69: carte des secteurs chef-lieu.

Source : révision du PDAU de Boumerdes, édition finale

- *Secteur administratif* : Il constitue un élément clé de la vocation de chef-lieu la commune de Boumerdes, avec une forte présence et un rayon d'influence important qui s'étend à l'échelle de la wilaya ;
- *Secteur universitaire* : Il constitue un élément clé de la vocation de la commune de Boumerdes, avec une forte présence et un rayon d'influence important qui s'étend à l'échelle nationale. Ce secteur engendre, durant la période scolaire, une population universitaire à la quelle Boumerdes doit faire face ;
- *Secteur touristique* : Malgré le nombre peu des infrastructures d'hébergement au sein de la commune, Boumerdes a enregistré durant la période estivale 2004 une population qui s'élève à 380 000 estivants ;
- *Secteur sportif* : Le secteur sportif à Boumerdes n'ait pas très important, on y trouve un stade olympique qui héberge des rencontres régionales une piscine et une salle omnisport ;
- *Esplanade et espace publique* : Les esplanades et les espaces publique sont omniprésents dans le chef-lieu, on retrouve le jardin El Nesr qui longe un grand parti du littoral et des placettes un peu partout dans la commune ;

- *L'habitat* : Vu la concentration des infrastructures au niveau du chef-lieu de Boumerdes on retrouve une forte densité de l'habitat : collectif, semi collectif et individuel.

Constat

En analysant les types d'équipements et fonctions présentes dans la ville, on constate que le secteur universitaire et administratif sont manifestement les plus dominant.

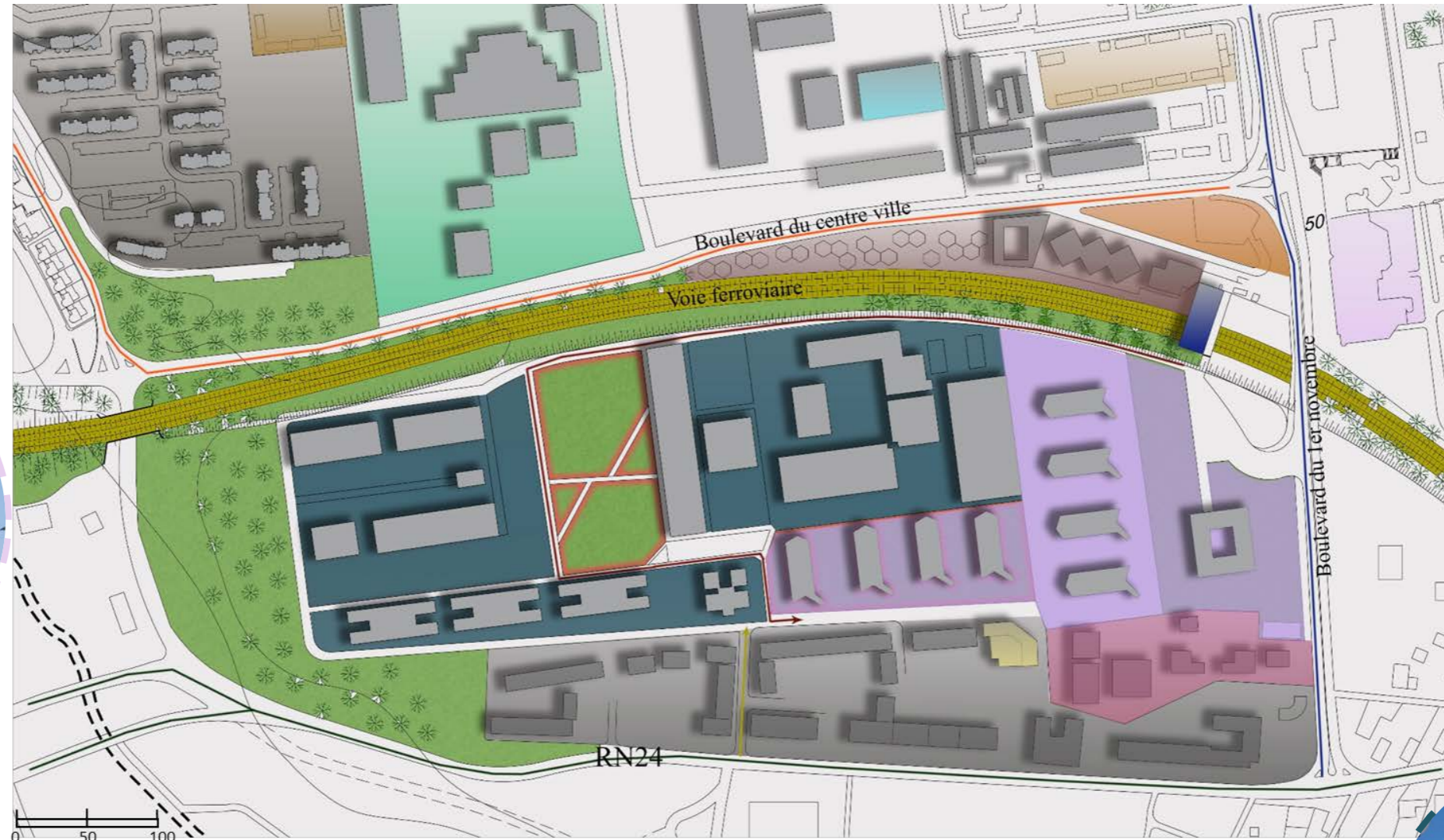
III.4.2. A l'échelle du quartier : POS U10

III.4.2.1. Présentation

Après la lecture urbaine de la ville de Boumerdes, notre choix s'est porté sur une parcelle située dans le POS 10. Le secteur se situe au milieu du centre ville de boumerdes, délimité par les POS A9, U13, U7, AU2.

Critères de choix

- Le projet est un « incubateur de startups » lié a la pédagogie, a l'enseignement supérieur, et a la recherche scientifique dans le domaine des sciences et technologies, qui a pour but de developper et valoriser la recherche universitaire, a et effet il doit etre a proximité ou inscrit dans un périmètre universitaire ;
- Assiette facilement accessible et repérable ;
- Les coditions climatiques les plus favorables ;
- Une zone calme pour offrir le confort optimal au chercheurs et startpeurs.
















- | | | | |
|---|--|---|---|
|  site d'intervention |  Université M'hamed Bougara |  ASGA |  Lycée des Frères Draoui |
|  Cité universitaire |  CETIM Laboratoire et direction CTIAA |  Centre commercial |  CEM Ibn Khaldoun ² |
|  kanagaz |  Gare ferroviaire |  Galerie de commerce |  Habitat collectif |
|  Arrêt de bus | | | |

Figure 70: Carte a l'échelle du POS 10
 Source : Traité par les auteurs.



Il se caractérise par :

III.4.2.2. Structure

Reseau viaire

Le POS 10 est délimité par des voies primaires par rapport a la ville : la RN24, Boulevard du 1^{er} novembre, Boulevard du centre ville, ainsi que la presence de la voie ferrée a l'interieur du POS.

Nœuds

Le site est délimité par un nœud de grande importance qui relie La RN24 et le boulevard 1^{er} Novembre mais malheureusement ne sont pas matérialiser.

III.4.2.3. Cadre Bati

Le bati du POS 10 est composé par l'habitat collectif et individuel ainsi que par des equipements (administratifs, educatifs, pédagogique...ect).

III.4.2.4. Cadre non bati

- Présence d'espaces verts à l'intérieur de l'université de M'Hamed Bougera ;
- Existence d'une petite fort à côté de l'université, mais cet espace est laissé a l'abondant.

Conclusion

Après avoir étudier le POS 10 nous pouvons dire que notre choix est

- situé au cœur du pole universitaire M'hamed Bougara-Faculté des sciences et technologies a proximité des département de mathematique et informatique, chimie, physique, et biologie, donc dans un milieu pédagogique qui répond a la vocation du projet « d'incubateur de startups » ;
- Une grande superficie ;
- Transport urbain assuré par la présence d'une gare ferroviaire et un arret de bus ;
- Une bonne accessibilité via la RN24 et le boulevard du 1^{er} novembre ;
- Zone calme.

III.4.3. A l'échelle de l'assiette d'intervention

Notre assiette d'intervention se situe à l'intérieur du POS 10 dotée d'une forme régulière, d'une superficie de 13 480 m². Traversé par des parcours qui le divise en 4 parties.

située en plein faculté des sciences technologies de Boumerdes (M'hamed Bougera). historiquement, elle comprenais deux départements effondrés lors du séisme de 2003.

Aujourd'hui elle dégage un cadre verdoyant caractérisé par une végétation dense et variée.



Figure 71: carte de l'environnement immédiat de l'assiette d'intervention.
Source : Auteur.

— Accès mécanique et piéton — Accès Piéton

III.5. Analyse bioclimatique du site d'intervention

« *L'architecture est fatalement climatique il n'y a architecture que lorsqu'il y a contraintes. Le climat en est une à laquelle on n'échappe pas* »³⁸.

Le but de cette approche est de développer une analyse des données climatiques que ce soit de la température, humidité, précipitation ainsi que le vent de la ville de Boumerdes, qui vont s'intégrer naturellement à la démarche du projet. Elle est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par hivers froids et humides et étés chauds et secs.

L'absence de station météorologique à Boumerdes nous a conduit à utiliser les données climatiques d'Alger récupérées au niveau de la station de dar el Beida/ Alger port (2006-2015) :

III.5.1. Temperature

| Mois | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aou | Sept | Oct | Nov | Dec |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| M.max | 17,1 | 17,1 | 19,6 | 22,3 | 25,4 | 29,1 | 32,4 | 32,7 | 29,6 | 26,9 | 21,5 | 18,2 |
| M. min | 5,8 | 5,9 | 7,6 | 10,1 | 12,8 | 16,2 | 19,6 | 20,3 | 18,2 | 14,7 | 10,4 | 6,7 |
| M.moy | 11,5 | 11,5 | 13,6 | 16,2 | 19,1 | 22,6 | 26,0 | 26,5 | 23,9 | 20,8 | 16,0 | 12,5 |

Tableau 5: Les moyennes mensuelles des températures moyennes, maximales, minimales d'Alger.

Source : les données climatiques d'Alger / station de dar el Beida/ Alger port (2006-2015)

Les variations mensuelles des températures permettent la distinction de deux saisons :

- **Saison froide** : Allant du mois de novembre au mois de mai, avec une température moyenne minimale de 5.8°C.
- **Saison Chaude** : Allant du mois de Juin au mois d'Octobre, Avec une température moyenne maximale de 29.6°C.

D'Après les moyennes mensuelles des températures d'Alger relatives à la période 2006-2015 on a constaté que la température moyenne la plus élevée est de 26,5 °C, enregistrée au cours de mois d'Août ; la plus basse est de 11,5 °C enregistrée au cours du mois Février.

³⁸ P.lavigneetP.fernandez , Concevoir des bâtiments bioclimatiques, édition le moniteur paris , 2009, page 405.

Le Weekly Summary représente les moyennes mensuelles et journalières des températures.

On peut lire que les maximales sont enregistrées au mois d'août et juillet qui représentent les mois le plus chauds.

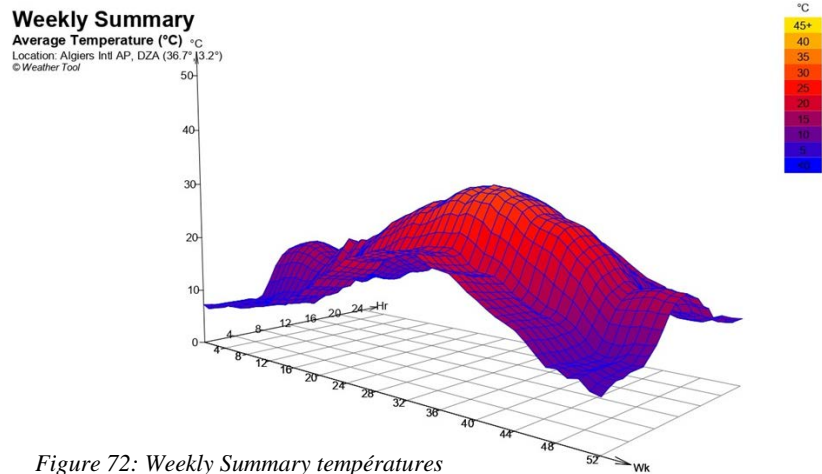


Figure 72: Weekly Summary températures
Source : Ecotect analysis 2011.

III.5.2. Humidité

| Mois | Jan | Feb | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aou | Sept | Oct | Nov | Dec |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H. max | 84,0 | 84,0 | 83,0 | 86,0 | 80,0 | 76,0 | 78,0 | 76,0 | 78,0 | 79,0 | 83,0 | 85,0 |
| H. min | 77,0 | 73,0 | 72,0 | 72,0 | 69,0 | 67,0 | 66,0 | 67,0 | 64,0 | 71,0 | 68,0 | 76,0 |
| H. moy | 80,6 | 78,0 | 77,0 | 77,2 | 74,9 | 71,3 | 70,3 | 71,0 | 72,8 | 74,8 | 77,4 | 80,9 |

Tableau 6: Les humidité relatives moyennes, maximales, minimales d'Alger.
Source : les données climatiques d'Alger / station de dar el Beida/ Alger port (2006-2015)

Le fait que Boumerdes est limité par la mer, l'humidité est assez élevée, en effet le tableau des humidités relatives moyennes permet la distinction de deux saisons :

- **Saison froide** : La moyenne max du taux d'humidité est repéré au mois de décembre à 80.9%.
- **Saison chaude** : La moyenne min du taux d'humidité est repérée au mois Aout à 67%.

Le calcul des humidités relatives moyennes, maximales et minimales d'Alger indique un taux d'humidité relativement élevé surtout en saison froide (de décembre à mars) avec une moyenne maximale de 80.9%.

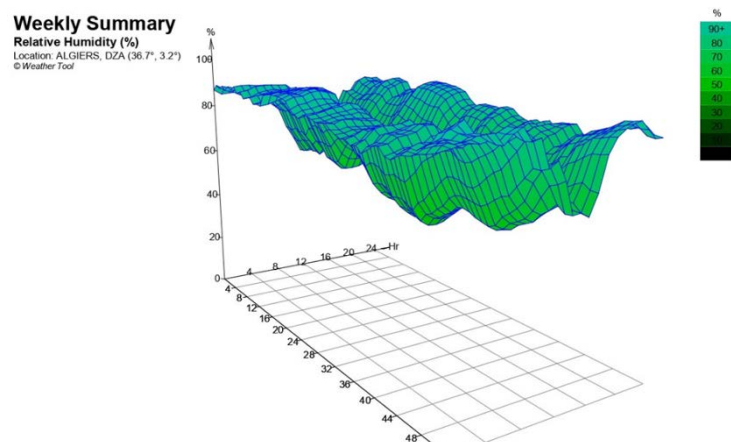


Figure 73: Weekly Summary humidités.
Source : Ecotect analysis 2011

III.5.3. Les vents

| Mois | Jan | Fev | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aou | Sept | Oct | Nov | Dec |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| V. max | 15,4 | 13,3 | 14,9 | 12,2 | 11,9 | 12,2 | 11,8 | 12,0 | 11,5 | 11,1 | 11,2 | 11,0 |
| V. min | 7,3 | 9,7 | 8,6 | 8,0 | 8,6 | 7,8 | 8,0 | 9,1 | 9,0 | 8,4 | 7,7 | 7,0 |
| V. moy | 10,0 | 11,4 | 11,3 | 10,7 | 10,5 | 10,6 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 9,6 | 9,7 | 8,9 |

Tableau 7: Les moyennes mensuelles des vitesses du vent d'Alger.

Source : les données climatiques d'Alger / station de dar el Beida/ Alger port (2006-2015)

D'après le tableau des moyennes mensuelles des vitesses du vent d'Alger nous avons constaté la présence de deux périodes :

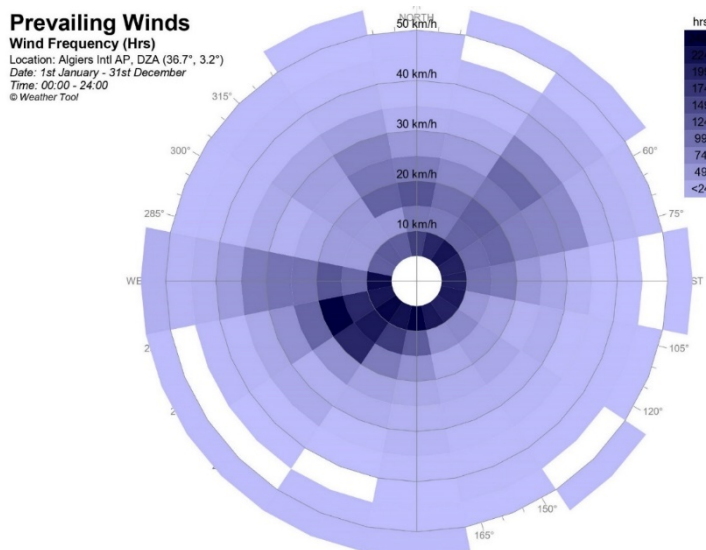
- **Période hivernale** : La vitesse moyennes maximales sont enregistrées de janvier au mois D'avril avec des valeurs variées en moyenne de 12,2 à 15.4 m/s.
- **Période estivale** : la vitesse moyennes maximales sont enregistrées de septembre au mois de décembre avec des valeurs variées en moyenne de 11.00 à 11.5 m/s.

III.5.4. La rose des vents

La rose des vents de Boumerdes nous informe sur la vitesse et l'orientation des vents dominants.

- **Période hivernale** : Les vents dominants sont de direction sud-ouest avec une vitesse de 20- 25 km/h et ouest Avec une vitesse de 30-35 Km/h.

- **Période estivale** : Les vents dominants sont de direction Nord-Est avec une vitesse de 20-25 km/h.



III.5.5. Les précipitations

| Mois | Jan | Feb | Mar | Avr | Mai | Juin | Juil | Aou | Sep | Oct | Nov | Dec | Ann |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| max | 141,9 | 244,3 | 152,4 | 176,8 | 112,4 | 51,6 | 10,3 | 52,3 | 92,6 | 143,2 | 253,4 | 192,4 | 882,6 |
| min | 9,7 | 15,5 | 26,2 | 0,2 | 6,5 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 8,3 | 14,4 | 21,3 | 0,0 | 438,8 |
| moy | 70,8 | 85,1 | 69,3 | 52,0 | 45,5 | 10,8 | 1,6 | 13,9 | 28,1 | 65,5 | 118,2 | 100,8 | 661,6 |

Figure 75: Les moyennes mensuelles des précipitations moyennes, maximales, minimales d'Alger.
Source : La station météorologique dar el Beida Alger, année 2006-2015.

D'après le tableau des moyennes mensuelles des précipitations, on a déduit que les précipitations dans la région présentent deux périodes :

- **Saison pluvieuse** : Allant d'Octobre à Avril avec un maximum de précipitation de 118.2 mm en novembre.
- **Saison sèche** : Allant de Mai à Septembre avec un minimum de précipitations de 1.6 mm en juillet.

D'après le tableau, les moyennes mensuelles des précipitations moyennes varient entre 118.2mm en novembre et 1,6mm en juillet.

Les eaux pluviales, en tant que source de vie très importante, peuvent être magasinées et réutilisées pour l'arrosage, les incendies, ainsi que l'alimentation en AEP.

On peut conclure que même si le climat de la ville de Boumerdes présente des températures supportables en été, la présence d'une humidité relative assez élevée (présence de la mer) génère un inconfort en périodes de surchauffe, celui-ci peut être évité en favorisant le déplacement de l'air à l'intérieur du bâtiment. C'est ce qui sera expliqué par le diagramme psychrométrique qui suit :

III.6. DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE DE GIVONI

III.6.1. Présentation

L'idée du diagramme bioclimatique, primitivement avancé par V. Olgyai a été reprise et améliorée par B. Givoni dans son livre « l'homme, l'architecture et le climat »³⁹.

Le diagramme psychrométrique est un outil d'aide à la conception, qui permet de déterminer quelles sont les meilleures solutions architecturales à choisir pour maintenir les

³⁹ 5 Jean Louis Izard, Alain Gayot, archi bio. Éditions Parenthèses, 1979, page 46.

conditions de confort à l'intérieur du projet, et cela en fonction des données climatiques du site.

Sur une base des données climatiques (sur une durée de dix ans) de la région où se localise le site d'intervention, le diagramme de Givoni permet de représenter chaque mois par un segment, celui-ci est défini par deux points exprimés par les moyennes mensuelles des valeurs extrêmes du couple température et humidité relative :

- Le point 01 : correspond au couple température moyenne maximale et humidité relative moyenne minimale du mois considéré.
- Le point 02 : correspond au couple température moyenne minimale et humidité relative moyenne maximale du même mois

Le diagramme est tracé sur la base des températures et humidités relatives de la région d'étude :

| | Jan. | Fév. | Mars. | Avr. | Mai. | Juin. | Juil. | Aout. | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. |
|------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| Tm Max | 17.1 | 17.1 | 19.6 | 22.3 | 25.4 | 29.1 | 32.4 | 32.7 | 29.6 | 26.9 | 21.5 | 18.2 |
| HRm Min | 77.0 | 73.0 | 72.0 | 72.0 | 69.0 | 67.0 | 66.0 | 67.0 | 64.0 | 71.0 | 68.0 | 76.0 |
| Tm Min | 5.8 | 5.9 | 7.6 | 10.1 | 12.8 | 16.2 | 19.6 | 20.3 | 18.2 | 14.7 | 10.4 | 6.7 |
| HRm Max | 84.0 | 84.0 | 83.0 | 86.0 | 80.0 | 76.0 | 78.0 | 76.0 | 78.0 | 79.0 | 83.0 | 85.0 |

*Tableau 8: représentation des conditions hygrothermiques d'Alger.
Source : La station météorologique dar el Beida Alger, année 2006-2015.*

III.6.2. Lecture et interprétation du diagramme psychrométrique

➤ Janvier / Février / Mars / Décembre

Pendant la journée le confort est assuré par des dispositifs passifs grâce à l'inertie thermique, gains internes et le solaire passif ; Mais puisque ces mois se caractérisent par un climat froid, il faut faire recours au chauffage actif pendant la nuit.

➤ Avril / Novembre

Pendant cette période le confort est assuré par des dispositifs passifs grâce à l'inertie thermique, gains internes et le solaire passif, quant au mois d'avril peut se retrouver dans la zone de confort à certaines heures de la journée.

➤ Mai/ Octobre

Pendant cette période le confort est assuré, c'est la zone de confort en aire calme, qui nécessite parfois l'utilisation d'une ventilation naturelle renforcée est cela pendant la journée ; Cependant durant la nuit le confort est assuré par l'inertie thermique, gains internes et solaire passif.

➤ Juin/Septembre

Pendant cette période le confort est assuré durant certaines heures de la journée, c'est la zone de confort en aire calme, qui nécessite parfois l'utilisation d'une

ventilation naturelle renforcée est cela pendant les heures de surchauffe ; Cependant durant la nuit le confort est assuré par l'inertie thermique, gains internes et solaire passif.

➤ Juillet/aout

Durant La journée le confort est assuré grâce à la déshumidification mécanique ; par contre le confort est assuré durant la nuit, c'est la zone de confort en aire calme qui nécessite parfois l'utilisation d'une ventilation naturelle renforcée.

Durant La journée, un dispositif d'appoint s'impose afin d'assurer la déshumidification mécanique et créer un climat confortable ; par contre le confort est assuré durant la nuit, c'est la zone de confort en aire calme qui nécessite parfois l'utilisation d'une ventilation naturelle renforcée.

Psychrometric Chart

Location: Algiers Intl AP, DZA
 Display: Monthly Mean Minimum/Maximum
 Barometric Pressure: 101.36 kPa
 © Weather Tool

SELECTED DESIGN TECHNIQUES:

1. passive solar heating
2. thermal mass effects
3. exposed mass + night-purge ventilation
4. natural ventilation
5. direct evaporative cooling

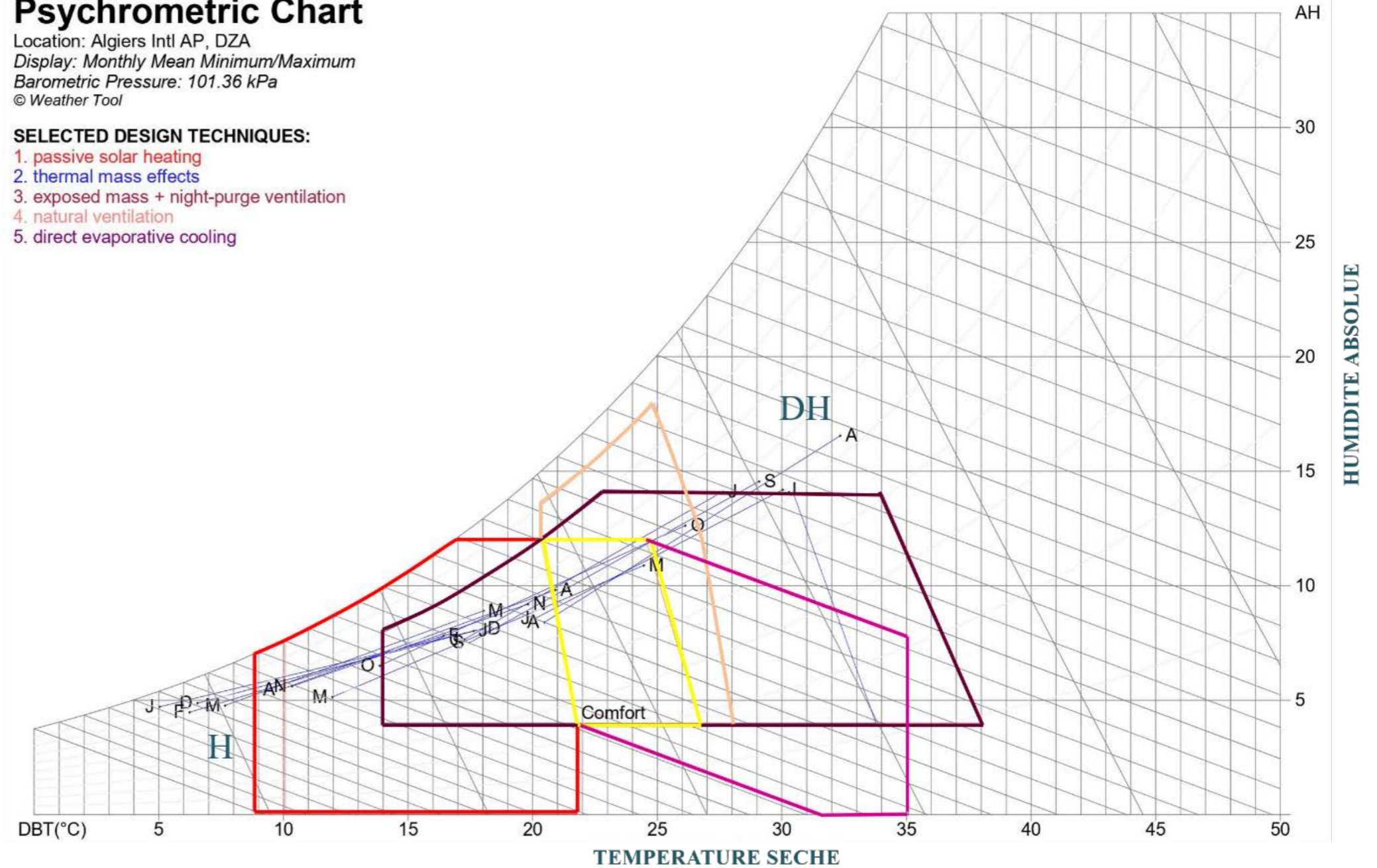


Figure 76: Diagramme Psychométrique.
 Source : Wether tools d'ecotect analysis 2011

III.6.3. Synthèse

L'analyse climatique de la ville de Boumerdes nous met l'accent sur son taux d'humidité assez élevé, Ce qui nécessite une prise en charge dans la conception du projet en s'adossant sur des solutions qui privilégient la ventilation naturelle.

D'après le diagramme psychométrique, les solutions bioclimatiques qui peuvent assurer le confort en Été ainsi qu'en Hiver sont présentées comme suit :

➤ **En été**

- ✓ Prévoir des dispositifs passifs de ventilation naturelle (patio, atrium, ventilation par cheminée) ;
- ✓ Réflexion par rapport à la résistance thermique soit par inertie soit par isolation ;
- ✓ L'utilisation des protections solaires et des techniques d'ombrage (façades et toitures ventilées) ;
- ✓ Recours aux dispositifs d'appoints assurant la déshumidification mécanique pendant les heures de surchauffe (12 :00-16 :00).

➤ **En Hiver**

- ✓ L'utilisation des matériaux à forte inertie thermique (vitrage performant) ;
- ✓ La bonne orientation et une meilleure implantation du projet pour profiter des apports solaires au maximum.

III.7. Ensoleillement

III.7.1. Méthode d'analyse

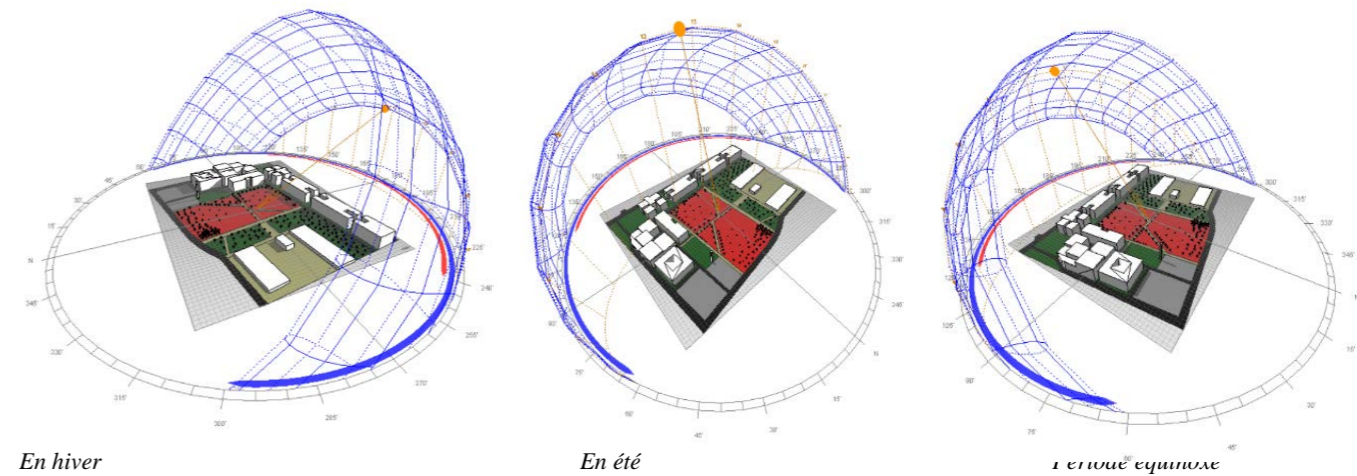
Afin d'illustrer les diagrammes, l'ensoleillement et les graphes au niveau de notre assiette d'intervention on a fait appel à une simulation à l'aide du logiciel Autodesk Ecotect Analysis 2011, est un outil d'analyse environnementale qui permet aux concepteurs de simuler les performances des bâtiments dès les premières étapes de la conception.

➤ **Période hivernale** « Solstice d'hiver 22 décembre »

Le soleil est plus bas dans le ciel en hiver, ses rayons tombent plus horizontalement, chauffent et éclairent timidement.

➤ **Période estivale** « Solstice d'été 22 juin »

Le soleil en Été est plus haut, ses rayons tombent plus verticalement, Chauffent et éclairent davantage.



En hiver

En été

à l'équinoxe

Figure 77: Simulation 3d de la course du soleil à midi.
Source : logiciel Autodesk Ecotect analysis 2011

III.7.2. Profil d'ensoleillement de l'assiette d'intervention

Les masques ou les ombres portés par les obstacles (bâtiments qui entourent notre assiette d'intervention), on les a étudiés pendant la période estivale, hivernal, afin de définir vers la fin les parties les plus ensoleillées et les plus ombrées de notre terrain.

➤ **Hiver**

En début de journée, l'assiette d'intervention est presque entièrement ombragée, en raison des départements avoisinants qui forment un masque. L'ombre voit sa disparition subtilement jusqu'à ce qu'elle devienne très minime à midi, le cours se reproduit de cet instant d'une manière opposée jusqu'à la réapparition de l'ombre sur l'ensemble de la partie haute du terrain, à 17h. Pour la partie basse, l'ombre est créée par des arbres denses (à une certaine hauteur).

➤ **Eté**

A 8h45, les départements Est portent de l'ombre sur la partie basse de notre terrain, à partir de 10h, le terrain est complètement bien ensoleillé. L'ombre est dégagée par les arbres dès 16h.

L'utilisation des techniques de captage et de stockage passives (serre bioclimatique, panneaux photovoltaïques, les stores, façade à double peau).

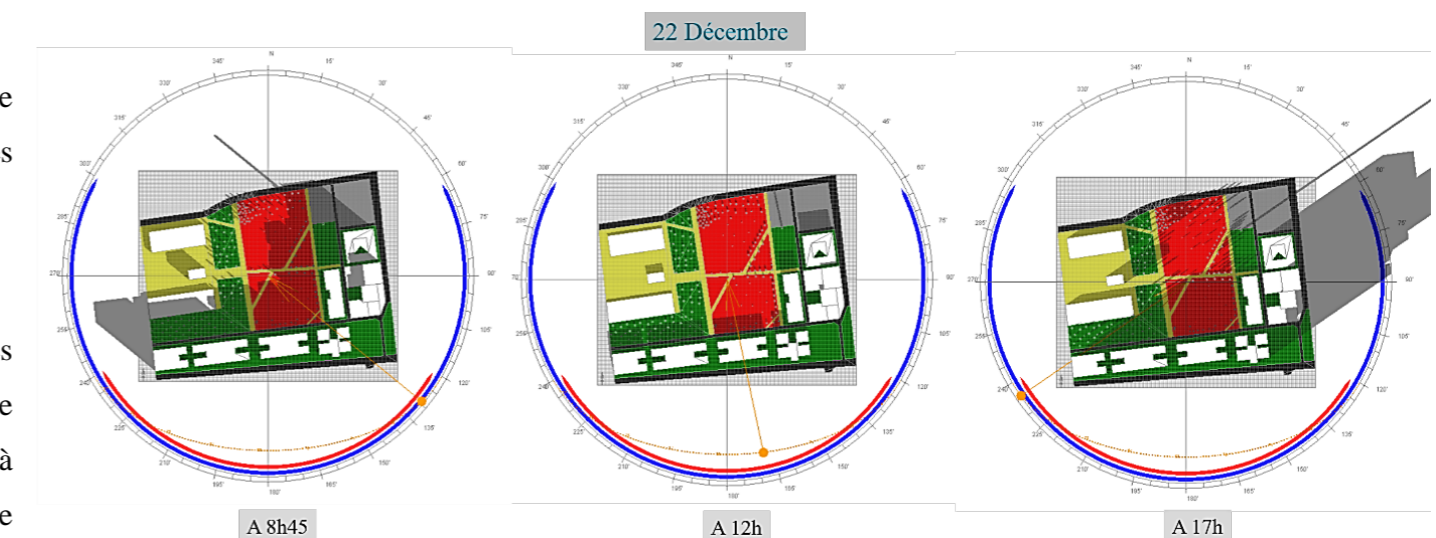


Figure 78: Simulation 3d de l'ensoleillement en hiver.

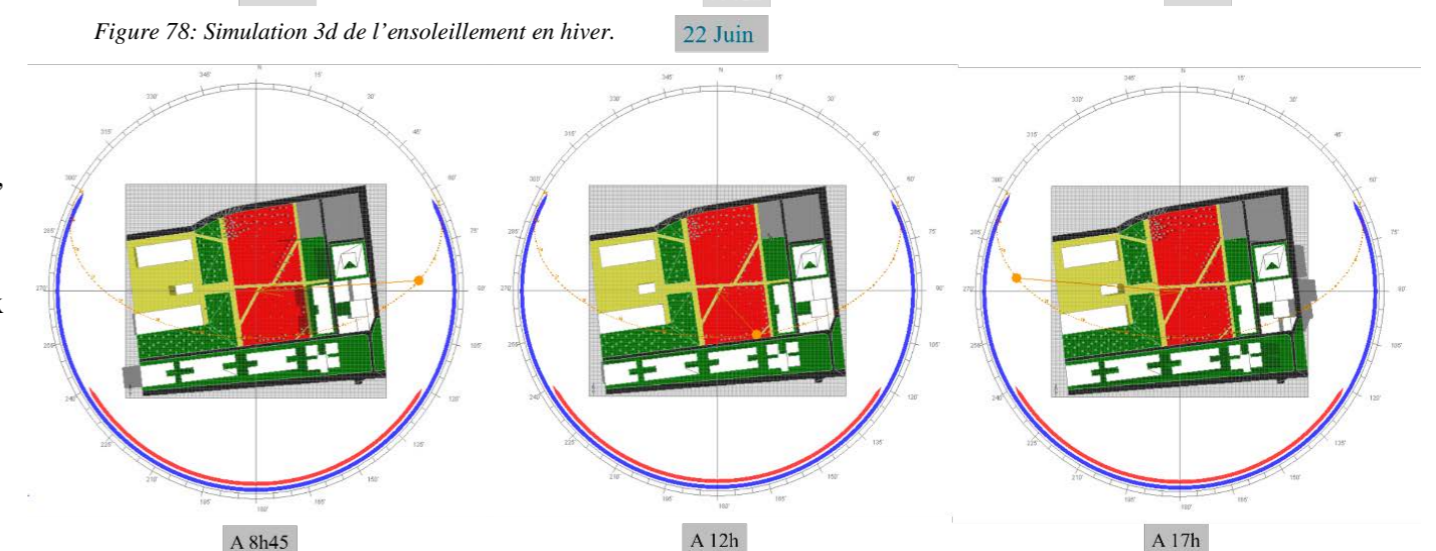


Figure 79: Simulation 3d de l'ensoleillement en été

➤ **Printemps**

Le matin, le terrain est presque complètement dégagé avec une légère ombre du côté Est qui voit sa disparition à de 10h ; à partir de 15h30, notre terrain commence timidement à recevoir l'ombre des arbres du côté ouest.

Synthèse

D'après les masques environnant notre site d'intervention, on remarque que le terrain est totalement ensoleillé en été et partiellement ensoleillé en hiver.

On conclut que notre terrain profite d'un ensoleillement en hiver avec un fort apport énergétique et nécessite une protection en été principalement du côté Sud et Ouest afin d'assurer le confort thermique.

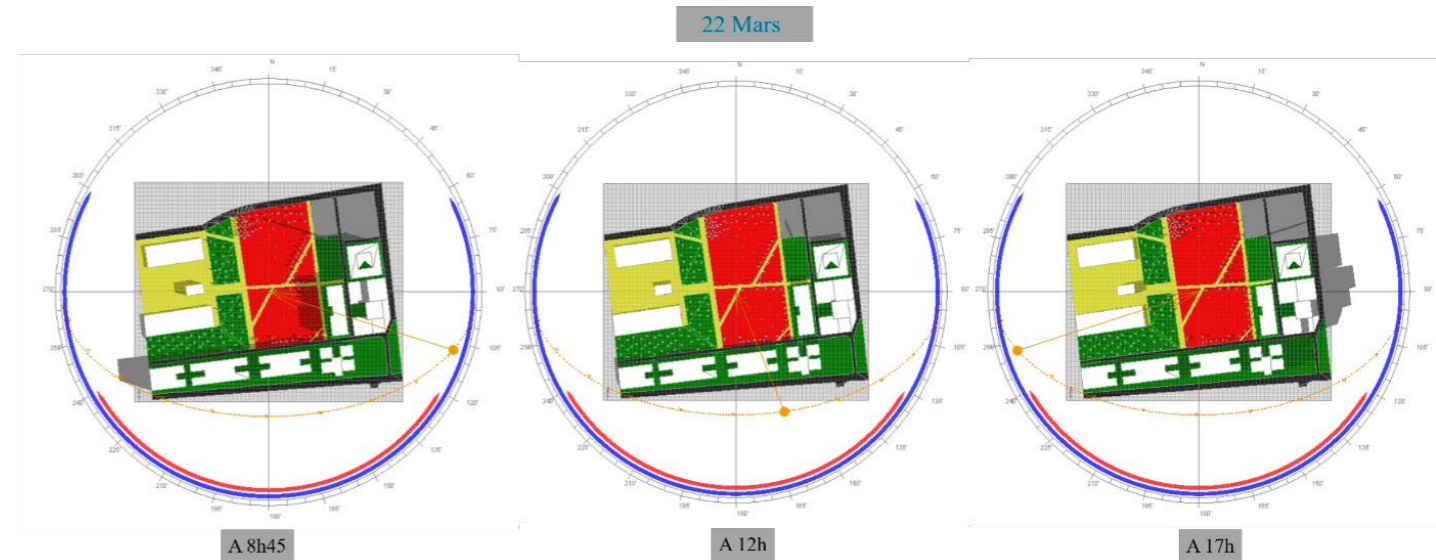


Figure 80: Simulation 3d de l'ensoleillement en équinoxe.

III.7.3. Le diagramme solaire (stéréographique)

- Le 21 décembre, le soleil se lève au sud-est et se couche au sud-ouest (la journée la plus courte de l'année), il atteint sa hauteur maximale de 30° à midi.
- De ce fait, les rayons solaires Pénètrent les bâtiments d'une façon timide. Les façades orientées sud sont les plus exposées au soleil.
- Le 21 mars, le soleil atteint une hauteur maximale de 55° à midi, il se lève à l'est et se couche à l'ouest.
- Le 21 juin, le soleil se lève au nord-est et se couche au nord-ouest (la journée la plus longue de l'année), il atteint une hauteur de 75° à midi, les façades orientées sud, est et ouest sont fortement ensoleillé. Ce qui nécessite de prévoir des protections solaires

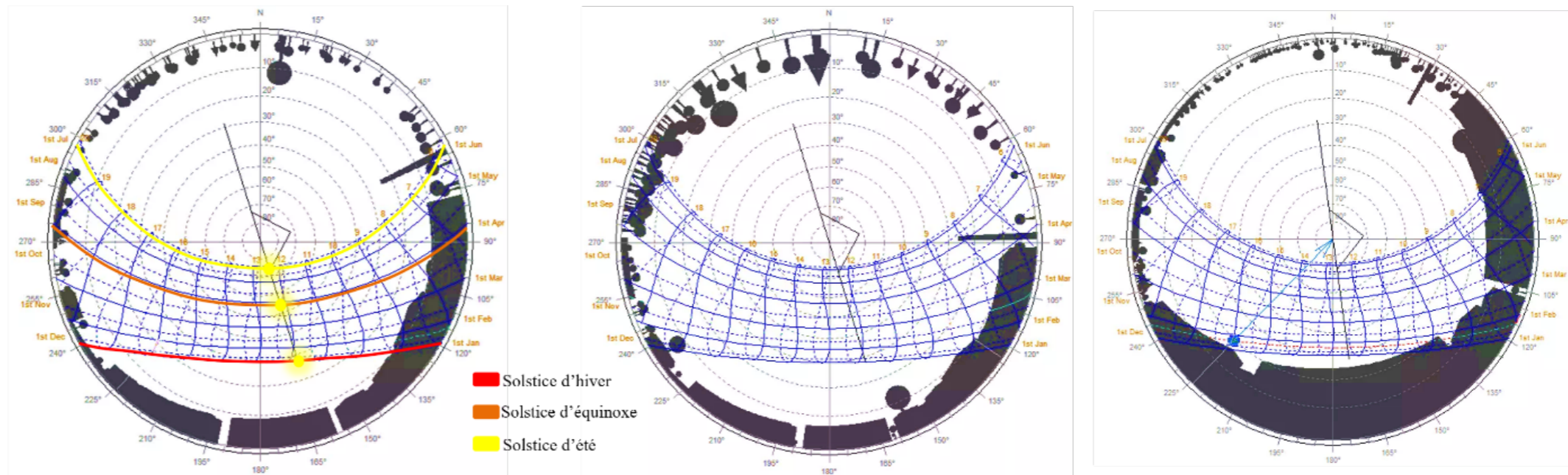


Figure 81: Le diagramme solaire (stéréographique) d'Alger. Source : logiciel Autodesk Ecotect analysis 2011.

Optimum Orientation

Location: Algiers Intl AP, DZA
Orientation based on average daily incident radiation on a vertical surface.
Underheated Stress: 219.6
Overheated Stress: 352.3
Compromise: 192.5°
© Weather Tool

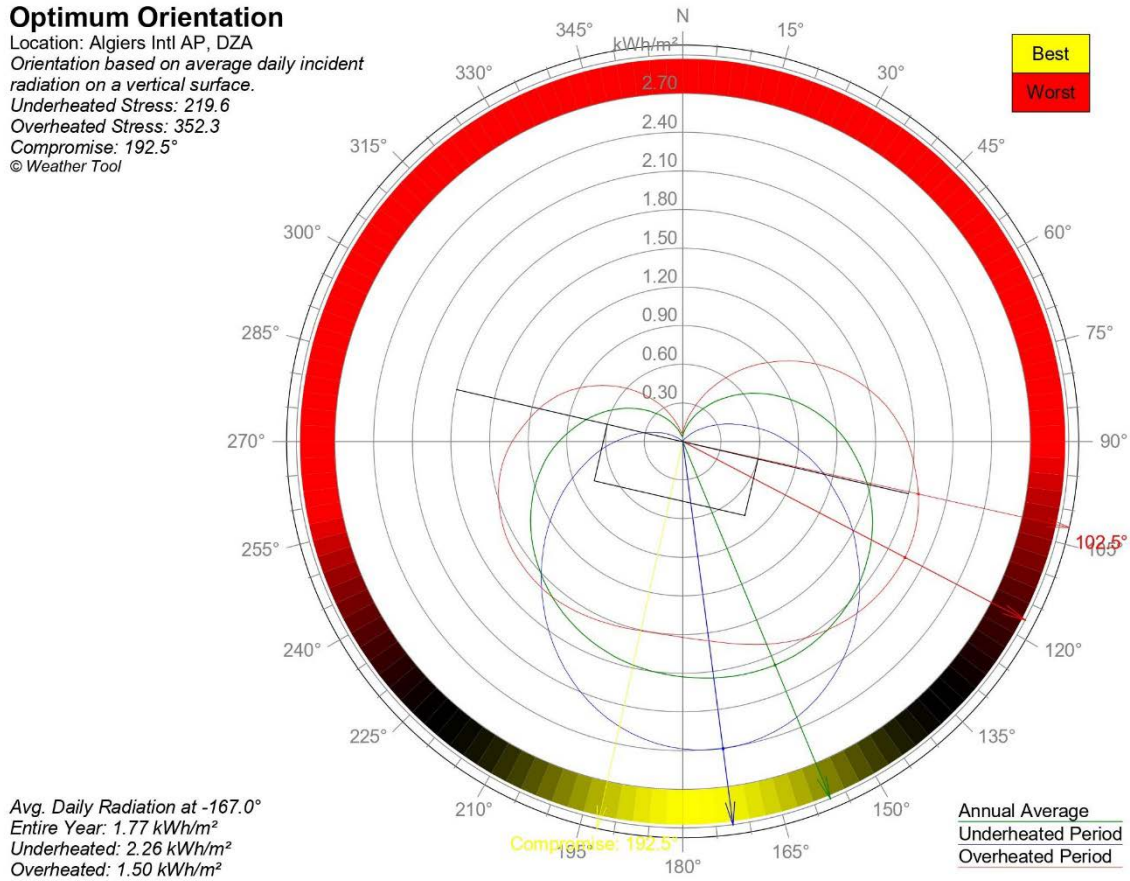


Figure 82: Le diagramme solaire (stéréographique) d'Alger.
Source : logiciel Autodesk Ecotect analysis 2011.

D'après l'analyse climatique, on constate que les hivers s'avèrent courts et peu sévères, quant aux étés, ils deviennent de plus en plus longs, chaudes et humides.

Sur ce il est nécessaire de prétendre encore plus d'attention à l'été lors de la construction.

III.8. AMBIANCES ET MICROCLIMAT

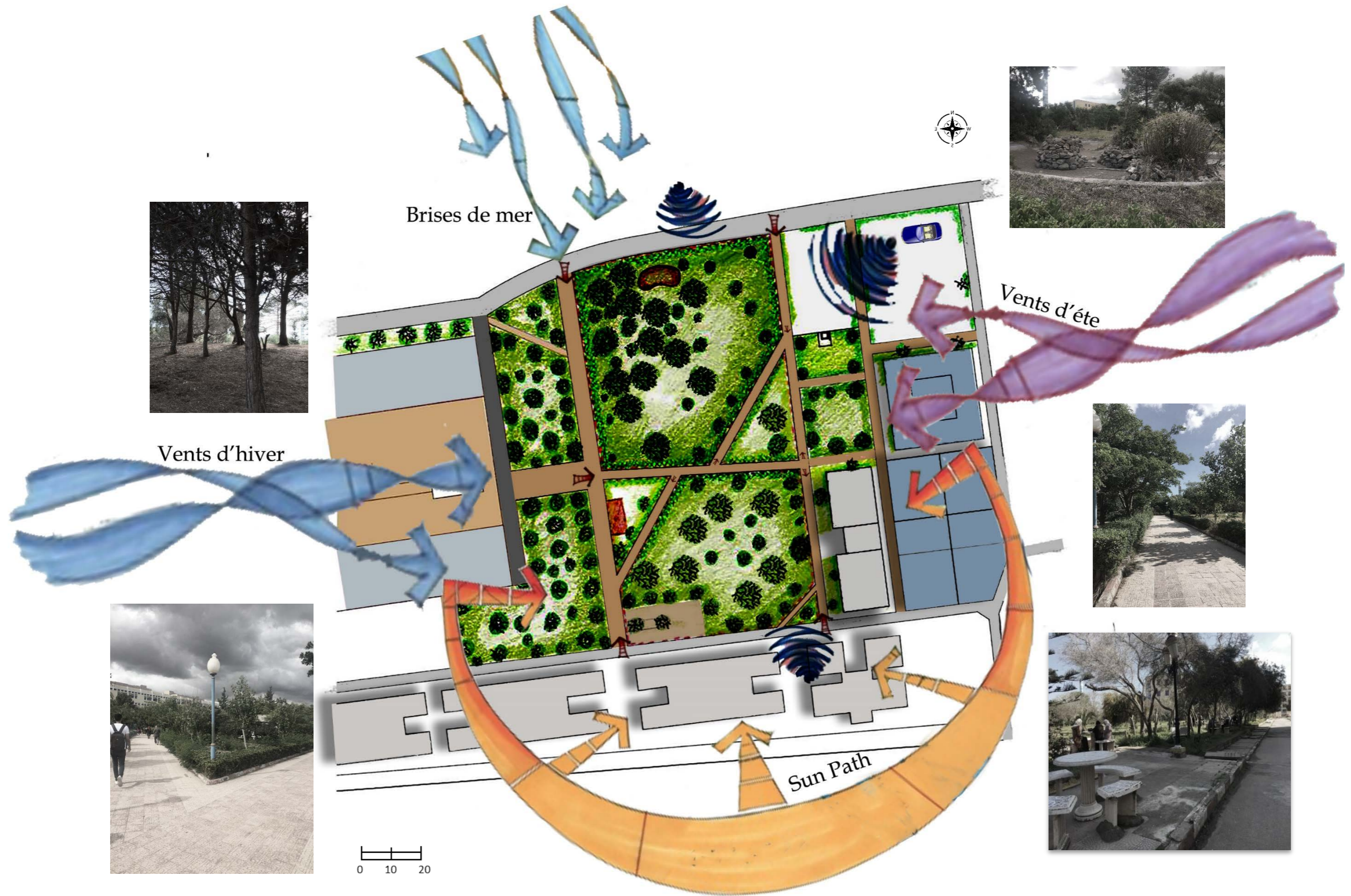


Figure 85: plan de masse synthétique représentatif des paramètres microclimatiques et des ambiances au niveau du site.
Source : Auteurs

Conclusion

L'analyse contextuelle effectuée nous a tout d'abord permis de faire connaissance de la ville, la zone et le site qui accueillera notre projet qui s'agit d'un incubateur de startup dans le domaine des matériaux intelligents, dont les dimensions physiques et les dimensions sensibles ou cachées (le vécu, les pratiques sociales). Il s'avère que la ville de Boumerdes est une ville à vocation universitaire, donc une ville de recherche, ce qui lui permet d'accueillir parfaitement un tel projet, vu surtout la présence des formations qui permettent le développement des matériaux dits intelligents au niveau de la zone d'intervention qui est la faculté des sciences technologiques. Mais en mettant le zoom sur l'assiette d'intervention, on se rend compte de la présence d'un vécu déjà installé que nous devrions bien prendre en considération dans notre conception.

L'analyse bioclimatique de la ville de Boumerdes révèle la présence d'un taux d'humidité très élevé, ce qui, nécessite l'adaptations des solutions qui privilégient la ventilation naturelle. Elle montre aussi que les étés sont longs et chaud ce qui fait appel à un maximum de dispositifs passifs tel que les brises soleil, ventilation naturelle par patio par exemple...etc.

L'analyse de l'ensoleillement de notre terrain, montre qu'il est pratiquement ensoleillé durant toute la journée, dont un fort potentiel énergétique, mais qui nécessite une protection afin d'éviter les gains d'Energie nos souhaités durant les périodes de surchauffe.

IV QUATRIEME CHAPITRE : Chapitre architectural

IV.1. Le projet, sa forme et son architecture

Suite à une analyse thématique, une analyse contextuelle et un avant-gout sur l'architecture bioclimatique nous sommes parvenus à élaborer un ensemble de directives permettant de dresser le projet architectural.

La prise en comptes des directives précédemment cités, doivent assurer : intégration du projet dans le concept du smart building, insertion du bâti dans son environnement naturel, une relation entre forme, espace et fonction, mais aussi l'intégration des techniques bioclimatiques. L'approche architecturale est donc considérée comme l'aboutissement du projet d'architecture.

IV.2. Idéation

Le passage d'un milieu urbain vers un milieu environnemental, de l'artificiel au naturel, un sentiment de transition, sont les ressentis de nos premiers pas empruntées sur les allées croisées du site.

Notre site d'intervention dégage un cadre verdoyant, une végétation dense et variée, qui constitue une véritable richesse. Notre volonté est d'intégrer le projet dans son environnement naturel, une conception architecturale innovante qui se doit d'être en communication continu avec son environnement, de préserver les éléments naturels et les pratiques des usagers du site tout en reflétant au maximum la fonction du projet d'incubateur de startups en matériaux intelligents dans le un concept de smart building.

IV.3. Conceptualisation

« Les concepts sont des éléments existants ou symboliques que l'on répond, au niveau de la conception, afin d'arriver à un sujet cohérent ». Oswald Mathias UNGERS.

Afin de mener à bien notre idée et la faire aboutir de façon plus claire, nous avons avancé les concepts ci-dessous :

Une architecture qui fusionne avec son site et son thème par :

- L'intégration du bâti dans son environnement à travers
- Une forme étirée à l'horizontale :
- Dissimiler la masse du bâtiment dans les arbres.
- Forme fluide

- Garder les pratiques et le vécu du site
 - Interconnexion avec le milieu naturel environnement
- Afin de créer une intériorité et un espace accueillant, le projet par sa forme, son implantation devrait être ouvert à de multiples perspectives
- Créer un sentiment d'être dans la nature tout en étant dans le bâtiment par l'optimisation des espaces verts à l'intérieur du projet.
- Le projet doit constituer en lui-même un projet d'étude pour la recherche dans le domaine des matériaux intelligents.

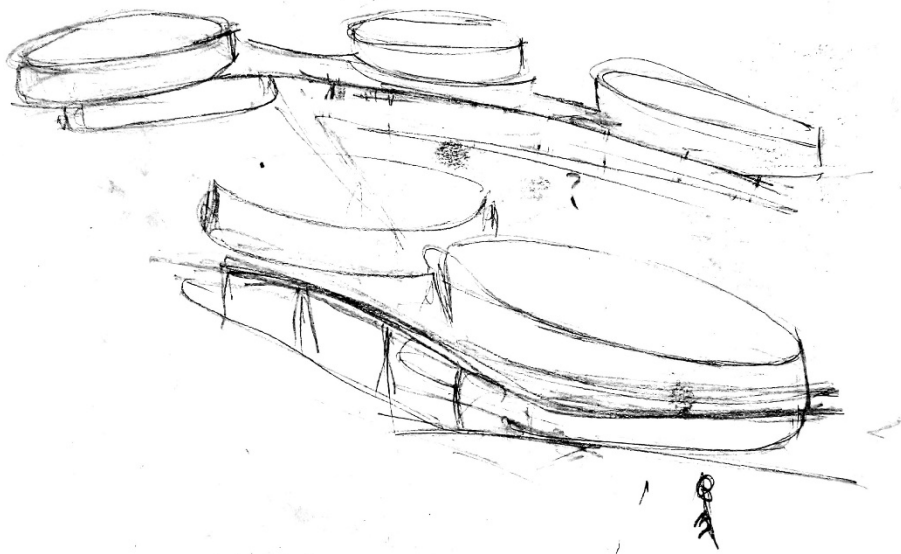
Promenade architecturale

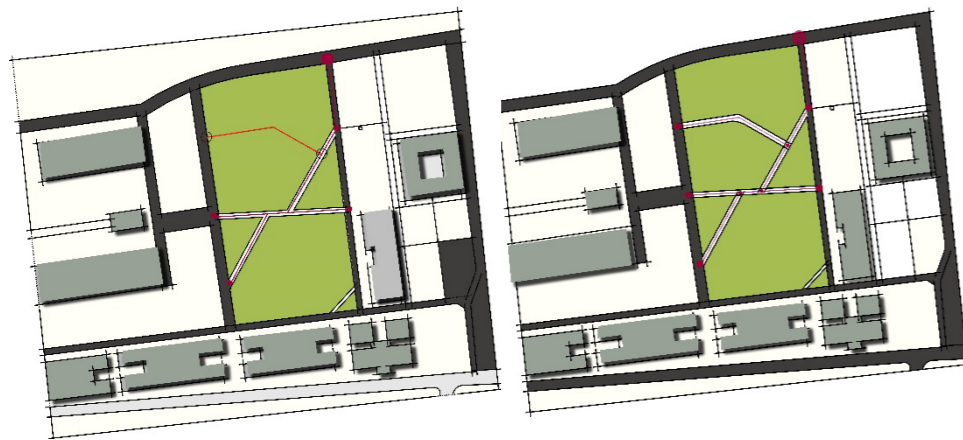
Qui est un sous concept de ce projet par :

- L'existence des parcours des allées croisées qui créer une interconnexion entre la circulation et les différents espaces du projet permettant de circuler très librement d'un endroit a un autre d'une manière fluide.
- Création de rampe et de plateformes suspendus qui permet une perméabilité entre les entités du projet.

IV.4. Matérialisation : Des concepts à la forme, concrétisation du projet

La première représentation graphique du projet

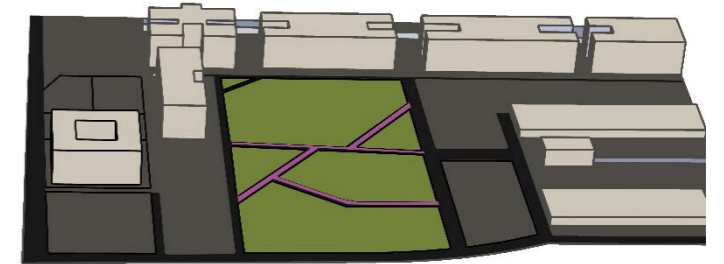




Première étape : Le respect du vécu et du milieu naturel

Notre assiette d'interventions est traversée par un ensemble de parcours dont deux sont importants, font objet d'axes principaux dans la conception de notre projet.

Création d'un parcours qui sera considéré comme troisième axe afin de créer un équilibre surfacique et susciter une forte connexion entre les éléments du terrain, voir la fontaine, la partie dense en arbre, les aménagements existants...etc.

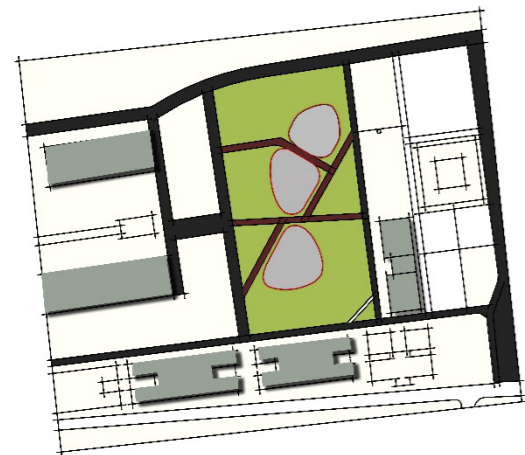
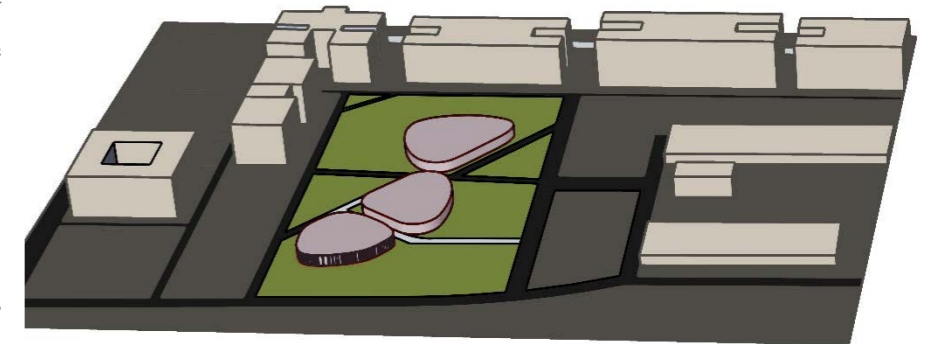


Deuxième étape : Délimiter les formes en vue des parcours existants / Unité fractale d'un matériau

Notre inspiration vient du thème du projet, dans le domaine des matériaux intelligents, portant sur la forme des cellules toute en épousant les axes. Par ses angles arrondis, elle permet d'avoir une meilleure circulation et fluidité à la fois autour des volumes du projet et de l'air.

Superposition des cellules pour le niveau supérieur. Des volumes aux formes de cellules différentes Divergées vers des points spécifiques du site, profitant des différentes vues du milieu naturel.

Un gabarit respectant le gabarit environnemental afin de dissimiler la masse du bâtiment dans les arbres et ne pas écraser l'échelle humaine.

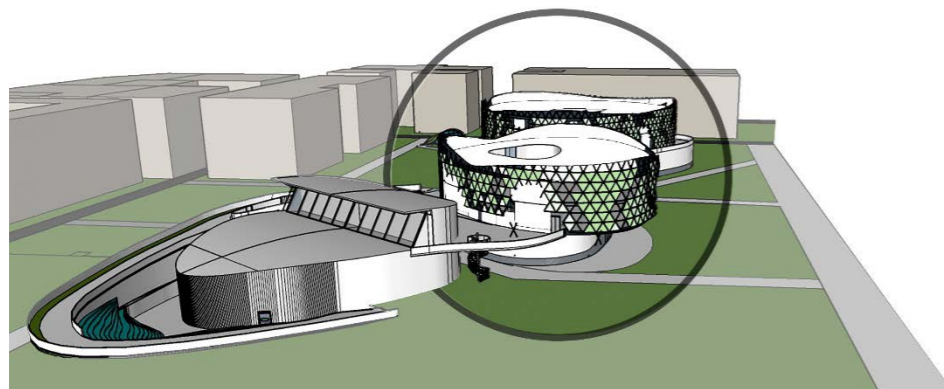
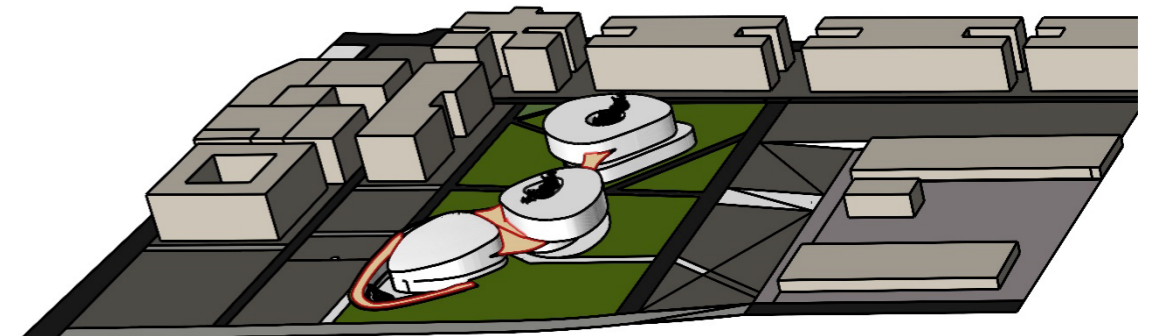


Troisième étape : ancrage et liaison

Création des axes de liaison afin de connecter les différentes parties du projet, et cela par une rompe qui joue le rôle d'un cordon ombilical reliant le projet au vécu du site

Interaction entre la circulation et les différentes parties du projet permettant une certaine liberté des déplacements d'un endroit à un autre d'une manière fluide.

Connexion avec le milieu naturel et le vécu par l'optimisation des espaces verts en extérieur comme en intérieur, création des gradins et d'un patio intérieur.



La forme étirée à l'horizontale permet ainsi l'émersion de la conception en dessous des lignes d'arbres et sa fusion dans le paysage incitant une magnifique promenade architecturale.

Quatrième étape : Enveloppe du projet

Nous avons habillé nos volumes avec une façade intelligente a base d'ETFE, qui permet de créer un effet fractal rappelant ainsi la structure des matériaux intelligents.

Ajouté à cela, nous avons marqué le soubassement par une ligne horizontale qui imine des transformations où elle s'élargit et se resserre.

IV.5. Description du projet

Notre projet architectural est un incubateur de startup des matériaux intelligents, situé au cœur de la faculté des sciences technologiques, dans la ville de Boumerdes. Il est d'une totale superficie de 7200 m² implanté sur 2800m² dans un terrain de 13240m², voir une occupation au sol de 20%. Il présente un gabarit qui varie entre R+1 et R+2.

La bonne intégration au site, la prise en considération de son aspect verdoyant et de ses pratiques sociales (le vécu), a résulté un projet fragmenté, constitué de 3 entités séparés par des parcours traversés quotidiennement par les membres de la famille universitaire.

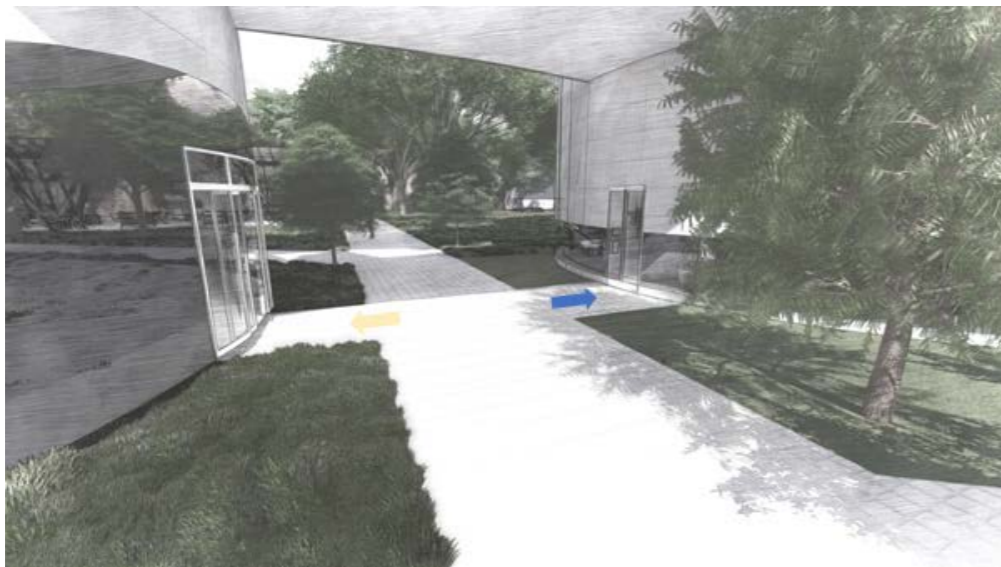
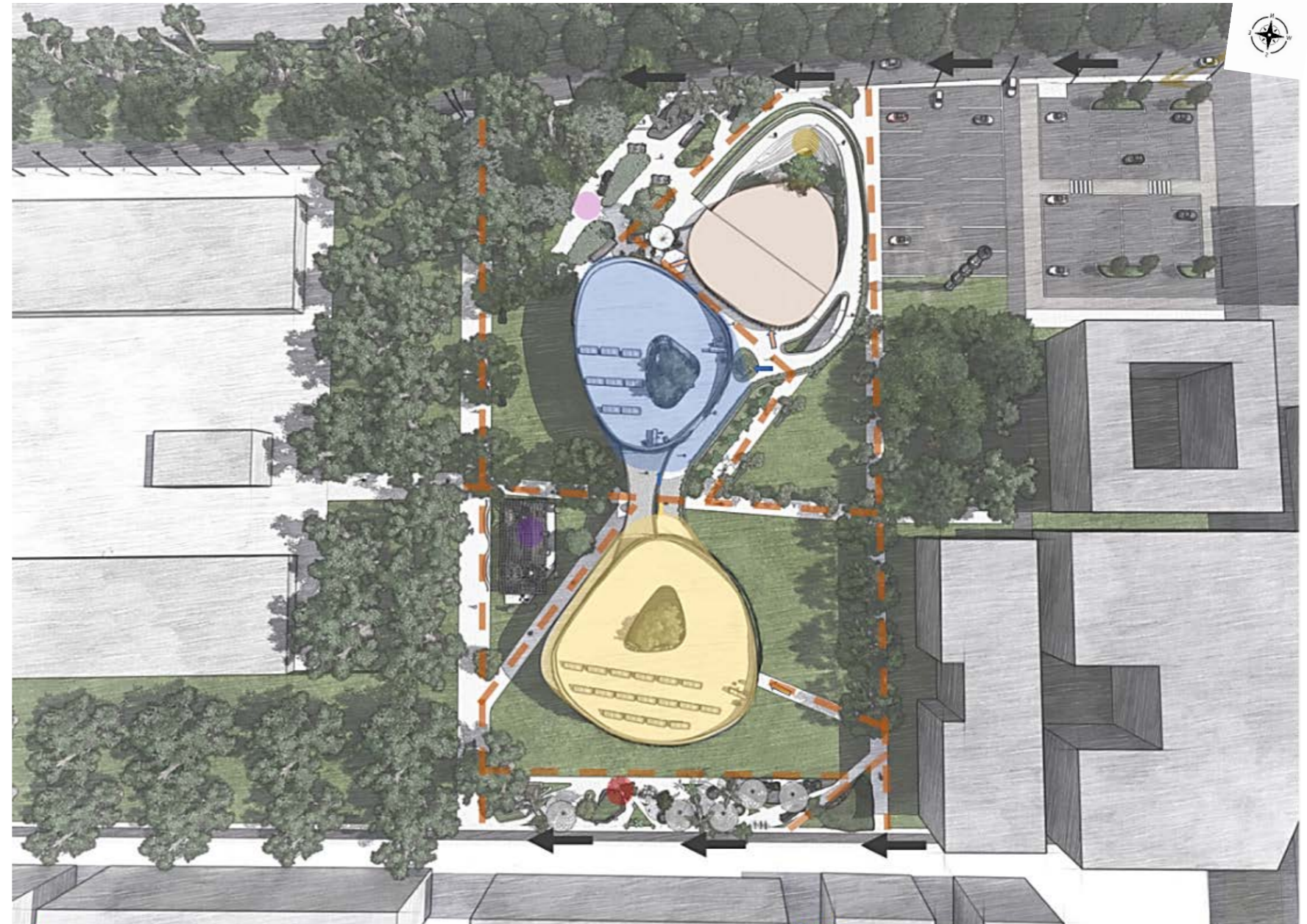
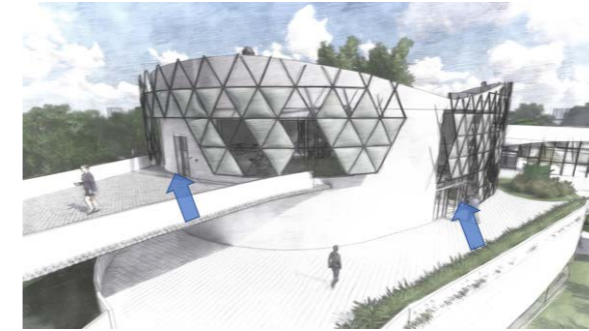


Figure 84: Les accès vers les entités.
Source : Auteurs.



- | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Entité défusion et interaction | Entité innovation et développement | Entité fabrication et prototypage | Placettes aménagées |
| ↳ Accès à l'entité | ↳ Accès principal | ↳ Accès principal | → Voie mécanique |
| | ↳ Accès secondaire | ↳ Accès secondaire | - - - Parcours piétons |

Figure 85: Vue de dessus.
Source : Auteurs.



IV.6. Aménagement extérieur

Dans cette partie, nous allons à la découverte des idées spécifique de notre projet et son extérieur, du vécu du site, le lien du projet avec son environnement, la perméabilité des espaces extérieures

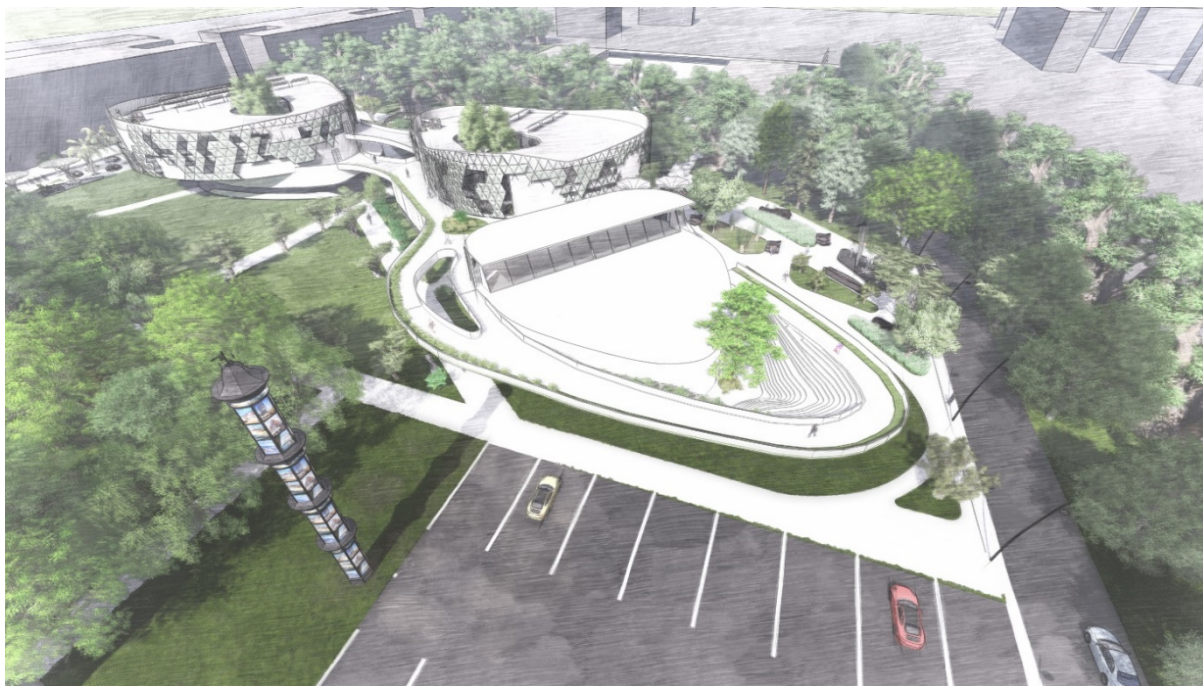


Figure 86: Incubateur de startups dans le domaine des matériaux intelligent
Source : Auteurs.

« L'architecture n'existe que par les corps qui la parcourent » N. Wolberg.

Développer la continuité de la promenade horizontale des parcours existant sur notre terrain vers la promenade verticale à travers une rampe accompagnée de végétation qui donne une impression d'étirement à partir du site.

Une esplanade en gradins, une place au grand publique de l'université, un lieu d'échange, de flânerie et qui sert d'issue de secours a l'auditorium.

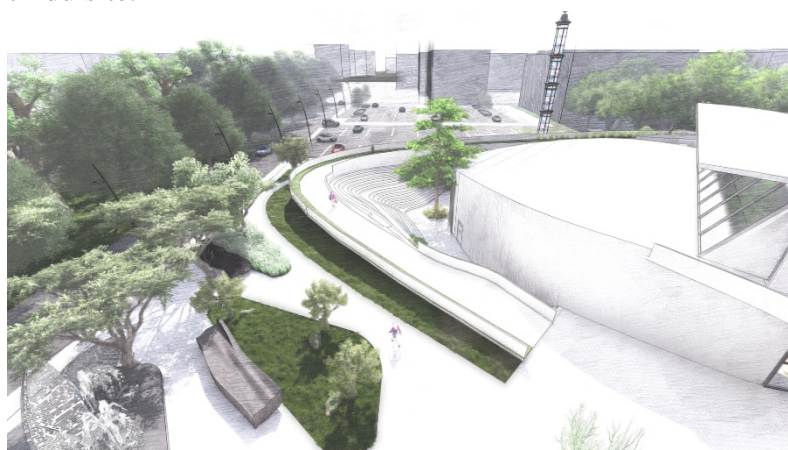


Figure 87: Esplanade en gradins.
Source : auteurs

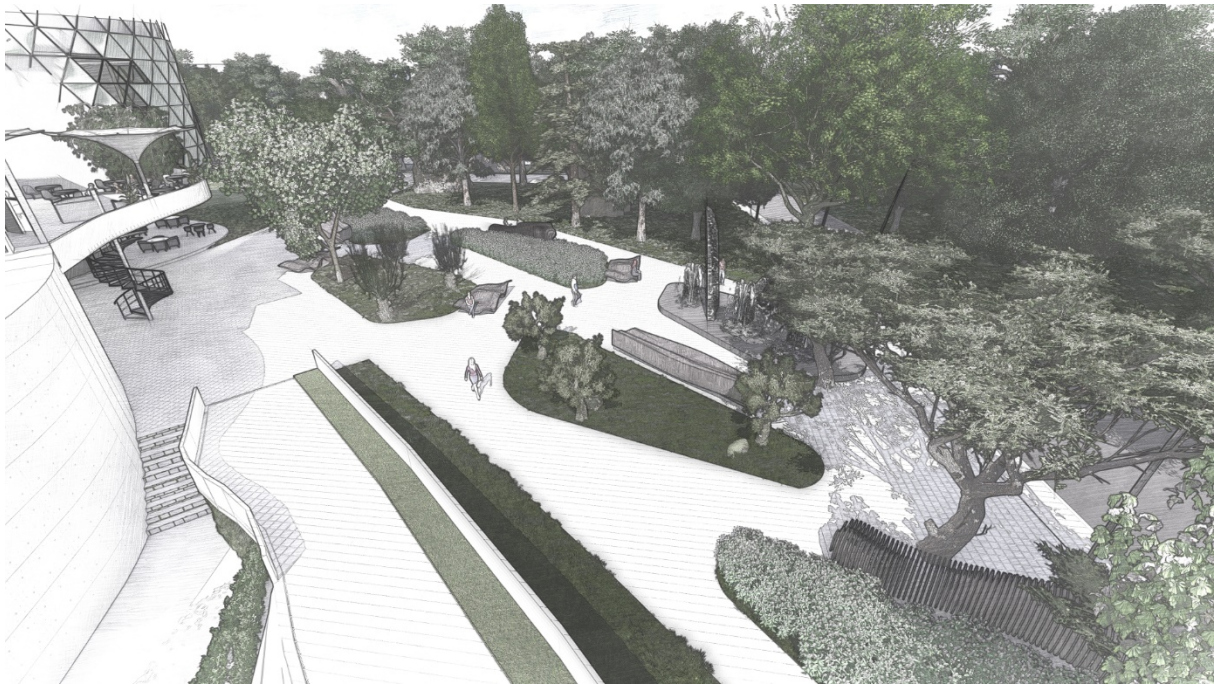


Figure 88: Le parvis.
Source : Auteurs.

Le parvis, une grande place qui servira comme espace d'expression et de performance à l'air, il reflète l'ambiance et la convivialité dès l'entrée au site.

S'asseoir sur les bancs du parvis offre un vis-à-vis à la fontaine, à la forêt avec sa dense végétations.



Figure 89: Vue sur la fontaine du parvis.
Source : auteurs.

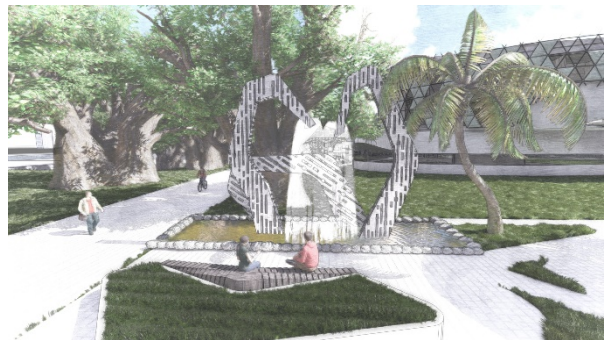


Figure 90: Vue sur la fontaine de la placette aménagée..
Source : Auteurs.

Une pergola dans un jardin, un environnement verdoyant travailler avec la nature, booster la créativité.



Figure 91: Pergola paramétrique..
Source : Auteurs.

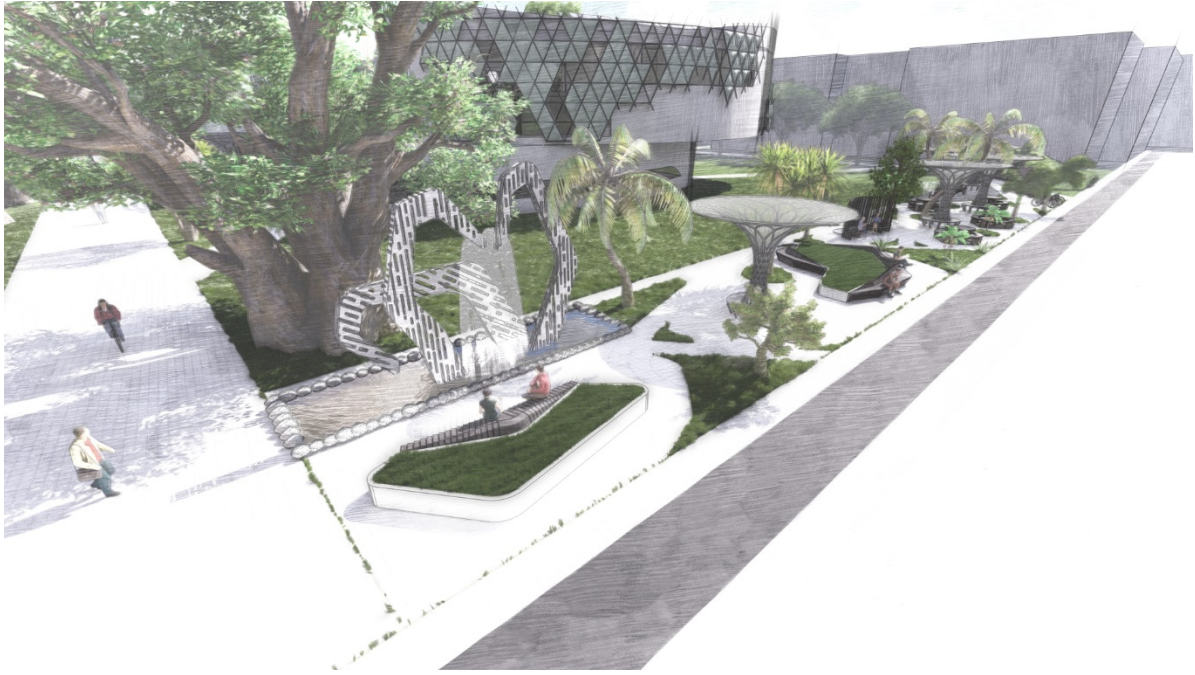


Figure 92: Placette aménagée.
Source : Auteurs.

On dispose de deux espaces de consommations extérieurs, la terrasse de la cafeteria au rez-de-chaussée en continuité avec la forme du volume supérieur, et celle du restaurant accessible par la rampe, l'escalier hélicoïdale et du hall de l'auditorium de forme fluide relie les deux entités.



Figure 93: Vue sur les terrasses extérieurs.
Source : Auteurs



Figure 94: Locaux énergétiques et techniques.
Source : auteurs

Un espace extérieur dédié à la gestion énergétique : une centrale de stockage photovoltaïque, chaufferie géothermie, station d'épuration des eaux usées, et bache à eau pour la récupération des eaux pluviales. • Installation des locaux techniques : chaufferie

Chacune des deux entités se déploie autour d'un patio, riche en végétation. Le vitrage des parois du patio permet de créer une connexion visuelle avec sa dense végétation, le soleil, et les nuages.



Figure 95: Patio.
Source : auteurs

Un rappel du site extérieur qui permet de renforcer le lien avec la nature.



Figure 96: Plateformes extérieures.
Source : auteurs.

Les plateformes relient l'entité de partage, innovation et de développement et de l'entité fabrication et prototypage.

IV.7. Lecture des façades

Les façades sont traitées de façon à fusionner avec le contexte naturel, à refléter son thème, ses fonctions basées sur la technologie et l'intelligence on retrouve :

- Des surfaces verticales opaques bien lisses de couleurs blanche qui se marie parfaitement avec le vert du naturel.
- Des formes fluides et en mouvement sur les trois dimensions (bases des volumes, toiture, ouvertures) marquant une continuité et une relation fusionnelle avec l'environnement
- Une rompe fluide qui fait trainer de la végétation le long du projet
- Une esplanade en gradin qui forme une charnière entre le bâti et le non bâti.

A travers les façades Est et Ouest on lit un projet morcelé en trois parties par des parcours à travers lesquels se font les accès vers les différentes entités et qui font objet de promenade architecturale.

Des surfaces verticales fractales, d'un module triangulaire et de couleur verte qui se dressent sur le blanc du fond parfois, et sur des surfaces translucides d'autres, forment une certaine dynamique et reflètent surtout l'aspect intelligent du bâtiment.



Figure 97: Façade est.
Source : auteurs



Figure 99: Façade ouest.
Source : auteurs



Figure 98: Façade nord.
Source : auteurs

IV.8. Organisation fonctionnelle

Plan du rez-de-chaussée

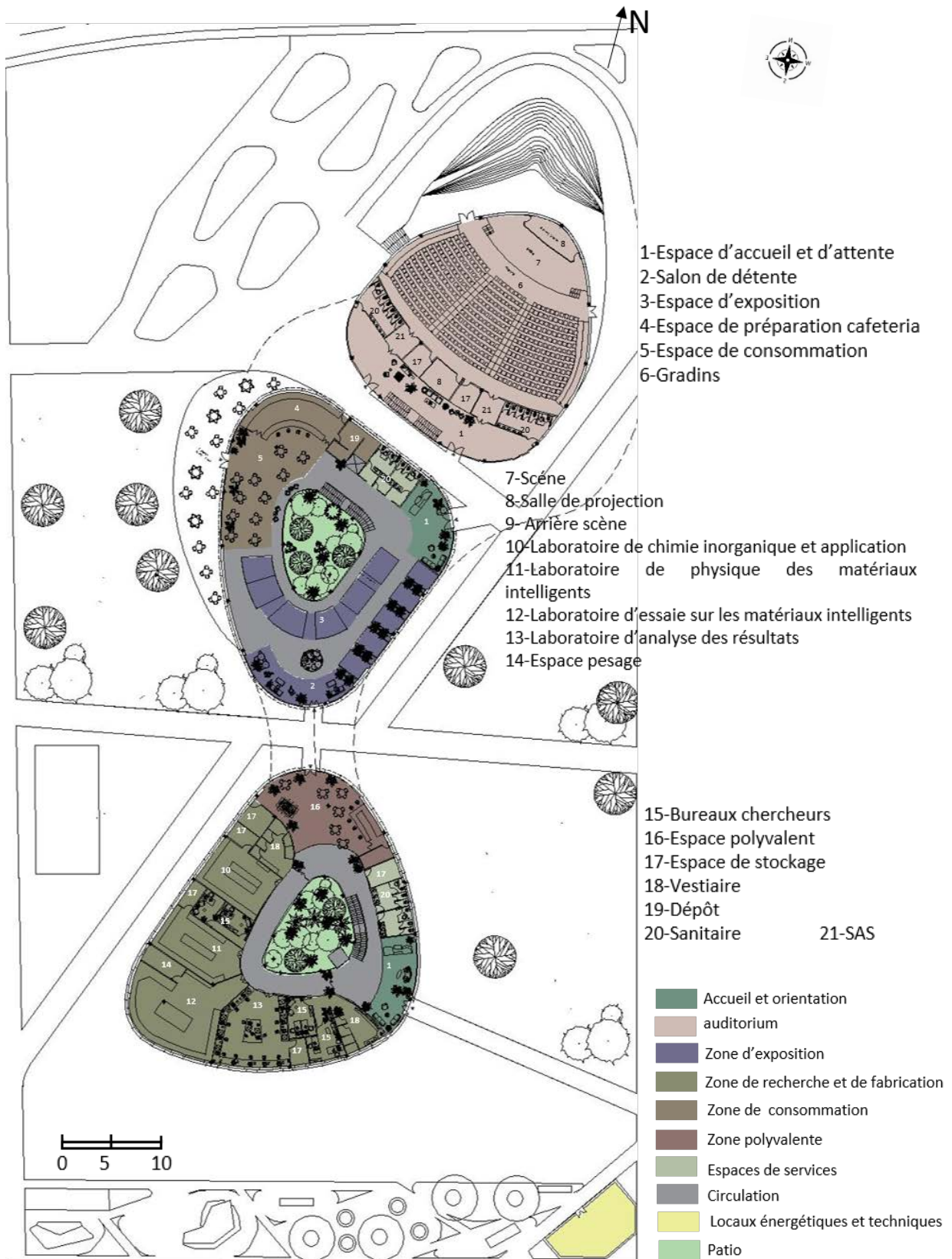
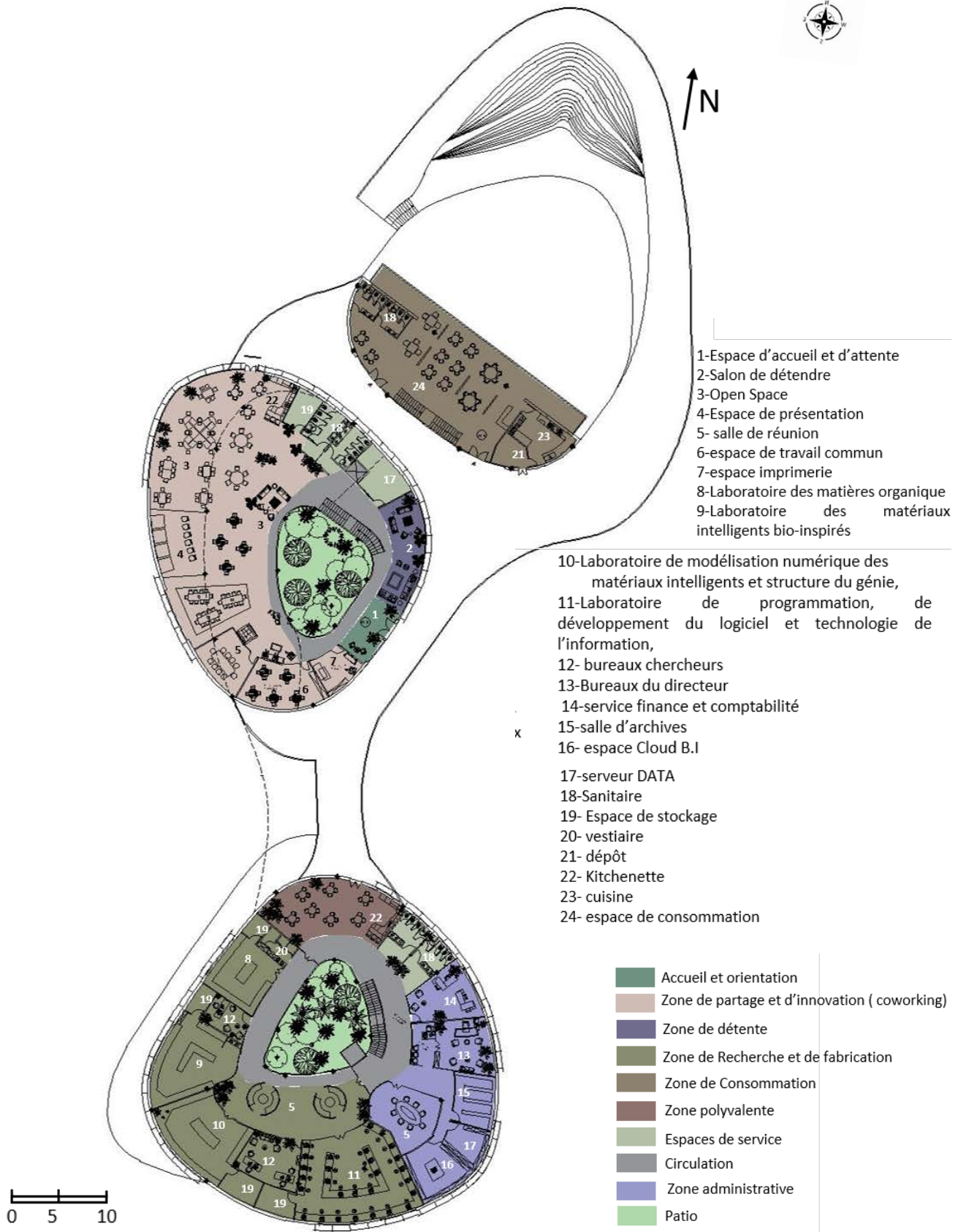


Figure 100/ Rez-de-chaussée.
Source : Auteurs

Plan du R+1



Le plan du R+2

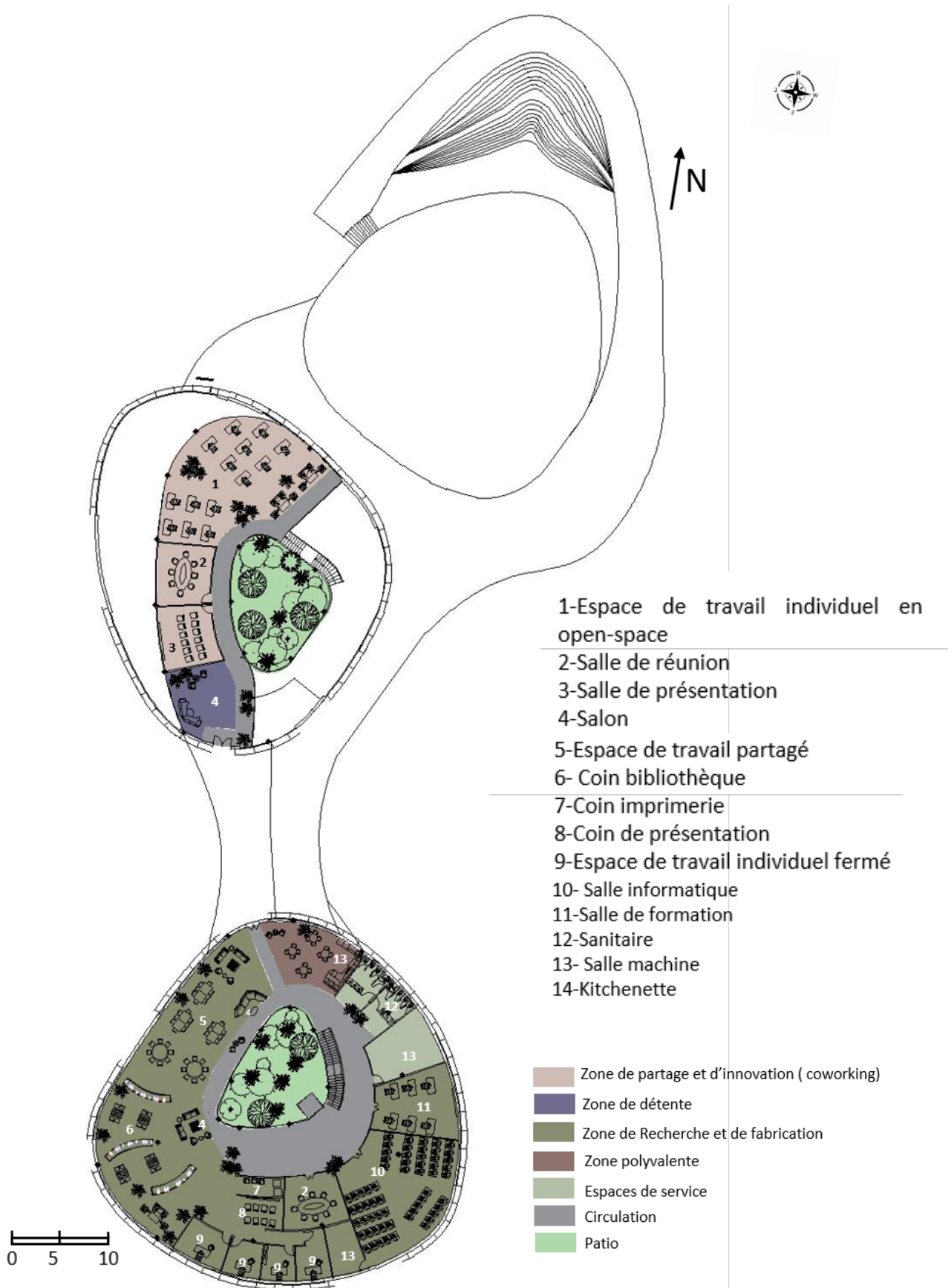


Figure 101: Plan du R+2.
 Source : Auteurs.

IV.9. ASPECT BIOCLIMATIQUE ET EFFICACITE ENERGETIQUE

Dans le but d'inscrire notre projet dans une démarche de développement durable et d'avoir une construction bioclimatique qui permet de minimiser la consommation d'énergie et d'assurer à la fois les besoins de confort thermique et hygrothermique, nous avons mis en place différents procédés bioclimatiques dès la conception de notre projet, de la stratégie de son implantation jusqu'au choix des matériaux qui constituent son enveloppe.

Ces dispositifs de chauffage, de protections et de ventilations s'inscrivent dans le concept du bâtiment intelligent qui permettra de faire de notre bâtiment un bâtiment durable intégrant le confort et la qualité d'usages exigés.

IV.9.1. Forme et organisation

La meilleure forme pour laquelle on optera dans un bâti bioclimatique sera celle qui optimisera les gains énergétiques et qui limitera LES DEPERDITIONS en hiver et leur APPORTS en été.⁴⁰

Notre projet est conçu comme étant un espace d'innovation et de développement sous forme d'une composition de volumes. Ces derniers sont de formes courbées qui s'inspirent de l'unité fractale d'un matériau (en forme de cellules).

- **Implantation** ; Le projet est implanté sur les parties entièrement ensoleillé du site déterminé lors de l'analyse bioclimatique.
- **Gabarit et skyline** : le bâtiment est d'une hauteur constante qui par sa géométrie courbée, s'intègre dans son environnement.
- **Fragmentation** : notre projet est appréhendé à l'échelle de l'entité, la gestion énergétique du chauffage et climatisation et gérer par bloc

L'effet aérodynamique : Par sa forme étirée en horizontalité, avec des volumes d'orientations différentes, et une architecture fluide offrent moins de prises de vents et une perméabilité horizontale.

Ce phénomène d'écoulement d'air sur la surface des volumes du projet permet de minimiser la formation de tourbillons d'air au contact des surfaces, d'éliminer les effets de coin, de diminuer les ponts thermiques, et les déperditions thermiques

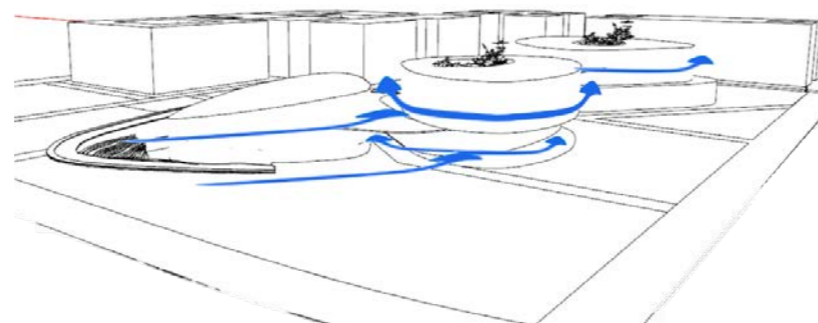


Figure 103: esquisse représentant l'effet aérodynamique.
Source : Auteurs.

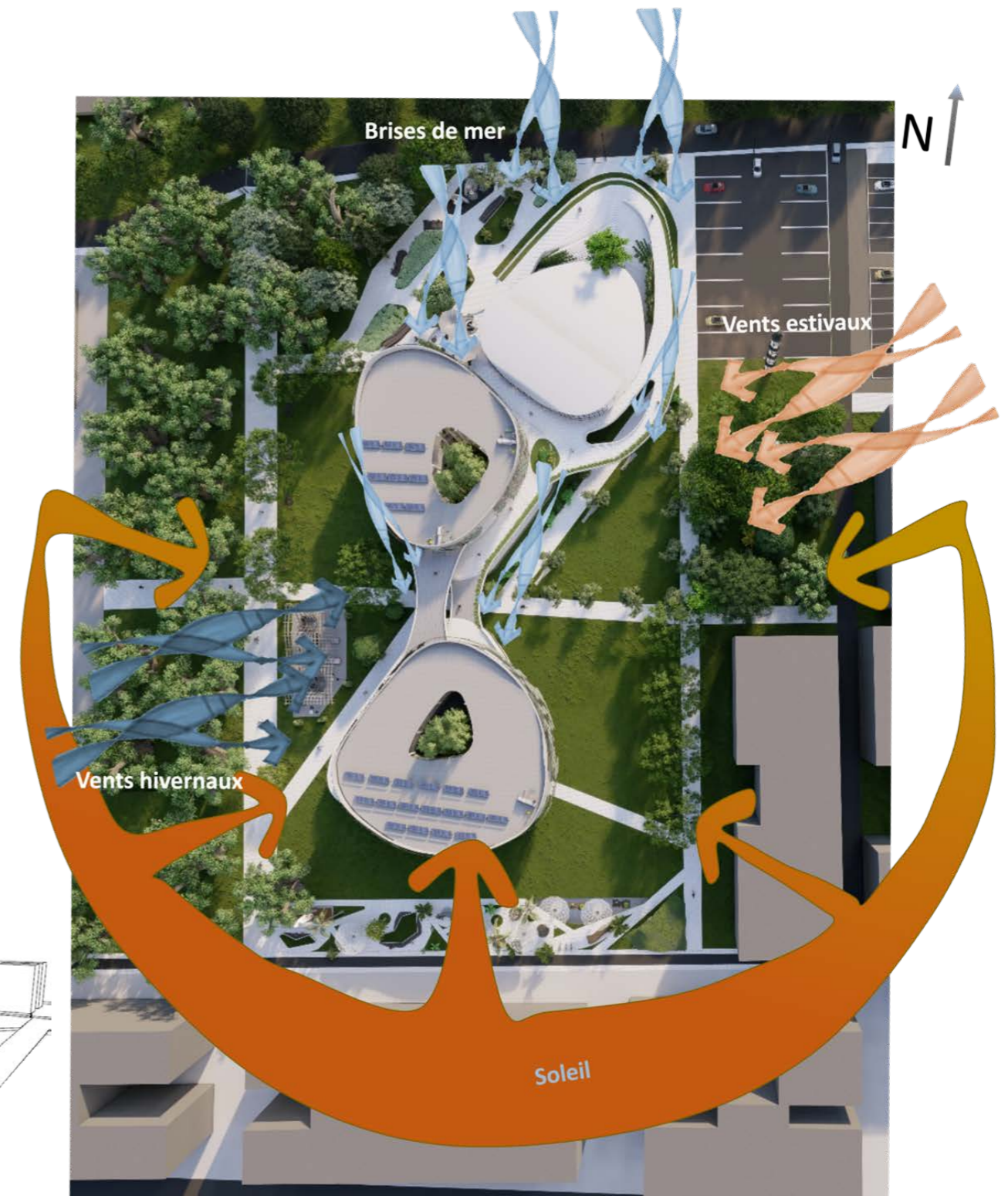


Figure 102: plan de masse du projet représentatif des paramètres microclimatiques et des ambiances au niveau du site.
Source : Auteurs.

⁴⁰ Cour Mr CHABI.

IV.9.2. Effet de la Végétation sur les différents confort

La végétation participe à la protection solaire. Elle apporte un ombrage et crée un microclimat par évapotranspiration.

Le feuillage d'un arbre peut filtrer de 60% à 90% du rayonnement solaire et un tapis de végétation réduit également le rayonnement solaire réfléchi par le sol. La végétation est donc un outil efficace de protection solaire et de contrôle du rayonnement.

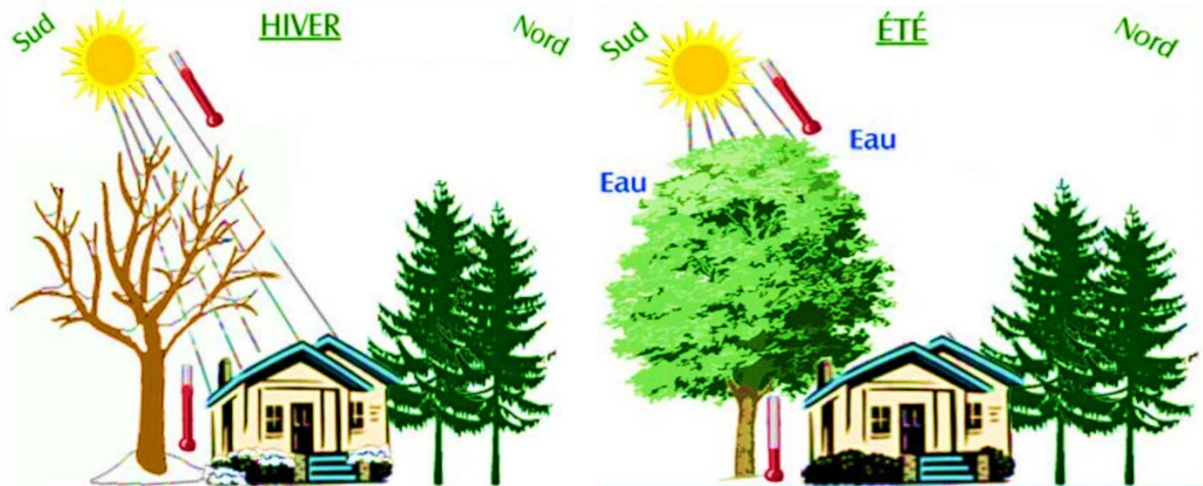


Figure 104: Végétation et confort thermique
Source : www.fr.slideshare.net

Elle permet de stabiliser la température de l'air par rétention d'eau dans ses feuilles et par évaporation de l'eau à leur surface. Elle permet également de limiter la pollution sonore.

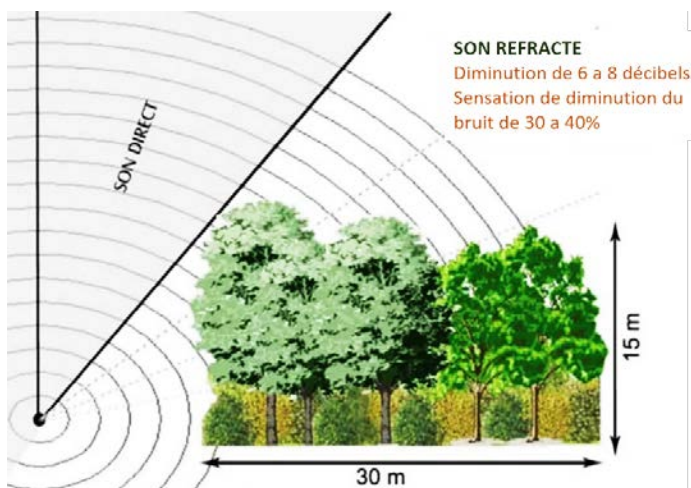


Figure 106: végétation et confort acoustique.
Source : fr2.slideshare.net (végétation et confort).

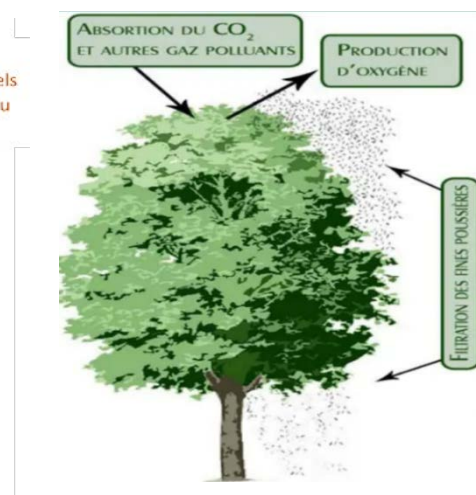


Figure 105: filtration de l'air.
Source : fr2.slideshare.net (végétation et confort).

Ajoutant à cela que la végétation filtre les poussières en suspension, fait écran aux vents tout en favorisant la ventilation, oxygène l'air et le rafraîchit par évapotranspiration.

IV.9.3. Rafraîchissement passif par ventilation naturelle

La ventilation naturelle est le moyen de ventiler le plus élémentaire, basée sur le simple fait que l'air chaud monte pour être évacué automatiquement par des ouvertures disposées à des endroits stratégiques. Notre terrain présente un avantage important celui de la proximité de la mer, pour cela nous avons essayé de profiter des brises marines afin d'assurer un rafraîchissement et une ventilation en saison chaude, à travers l'utilisation des différents systèmes de ventilation naturelle à savoir :

Ventilation transversale

La ventilation transversale correspond au cas où l'air entre par une façade du bâtiment et ressort par une façade différente, généralement du côté opposé.

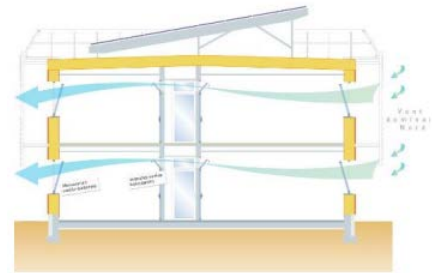


Figure 107: Ventilation transversale.

Source : dpearea.files.wordpress.com/selma_benzarti.pdf

a. Présence d'un Patio

Le patio, en étant le cœur et le centre de notre projet, est un espace structurant qui nourrit et se nourrit de la construction. Il représente une sorte de microcosme qui met l'entité architectural en relation avec l'extérieur, le soleil, l'air frais, la végétation et l'eau qui influent d'une manière positive sur le microclimat du patio surtout pendant la période chaude.

Il représente un outil principal dans la régulation thermique. Il permet d'imprégner les espaces intérieurs de lumière naturelle et une protection aux rayons solaires et à l'air frais, la construction de son côté, participe au confort du patio en le réchauffant par les

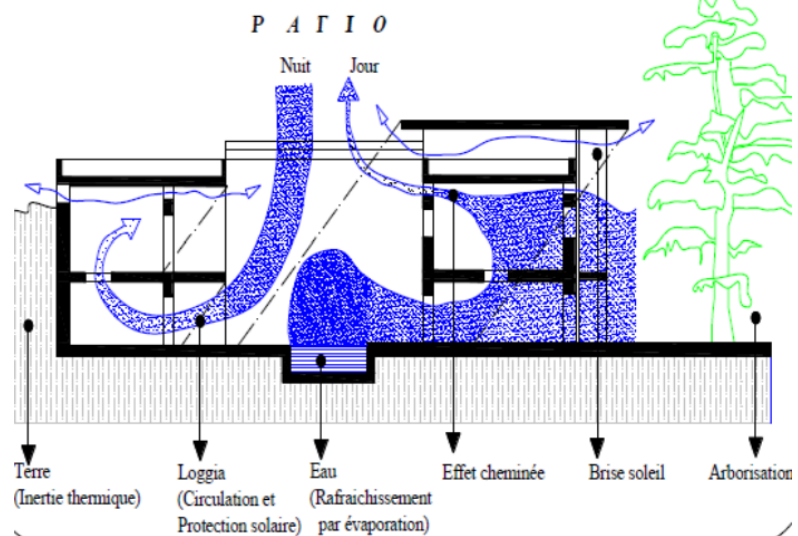


Figure 108: Schéma de fonctionnement climatique d'un patio.

Source : CHABLM, 2009.

dépense calorifiques par rayonnement, et lui assure l'ombre et l'ensoleillement selon un rythme journalier et saisonnier. Sur le plan architectural, il permet par sa disposition centrale d'avoir une gestion des flux cohérents et adaptés aux fonctions projetées.

IV.9.4. Stratégie d'été basée sur le rafraîchissement passif par la ventilation naturelle

- **Ventilation transversale**

Nous avons utilisé le système de ventilation dans l'ensemble des blocs B et C du projet vue leurs expositions aux brises marines et aux vents du nord est, Elle s'effectue dans chaque bâtiment à travers deux faces, de la surpression vers la dépression. Ou l'air frais neuf est insufflé dans le bâtiment, ensuite distribué, et enfin évacué à l'extérieur. L'exploitation de ces vents nous permet de diminuer l'humidité de l'air et la consommation électrique pour la climatisation et assurer un rafraîchissement des espaces de la manière la plus naturel possible.

- **Le fonctionnement du patio en été**

Notre projet dispose de deux patio aux cœurs des cellules.

- ✓ Ils jouent le rôle d'un véritable régulateur thermique ;
- ✓ Favorisent la circulation d'air vers l'intérieur du bâtiment.
- ✓ L'angle des rayons du soleil est plus important la protection est assurée par la présence de la végétation.

- **La Présence du végétal et de l'eau**

La présence de l'élément végétal et de l'eau contribue véritablement au rafraîchissement de l'air grâce au phénomène d'évaporation transpiration. La végétation constitue un élément de protection de la projection directe des rayons solaires en été tout en permettant leur passage en hiver.

- **La protection solaire**

Les volumes qui ressortent en porte-à-faux serviront de brises aux niveaux inférieurs.

IV.9.5. Stratégie d'hiver basé sur le chauffage passif

- **Le fonctionnement du patio en hiver**

L'angle des rayons du soleil est moins important ce qui leurs permet de passer directement sur les parties vitrées ce qui engendre un effet de serre, par conséquent l'air est réchauffer naturellement puis propager dans les différents espaces.

Le chauffage de la partie Sud est assuré par le captage direct du rayonnement solaire par le vitrage à travers les parties vitrées qui laisse entrer le rayonnement solaire, cette énergie sera stockée dans la dalle et le mur diffusé par rayonnement aux différents espaces.

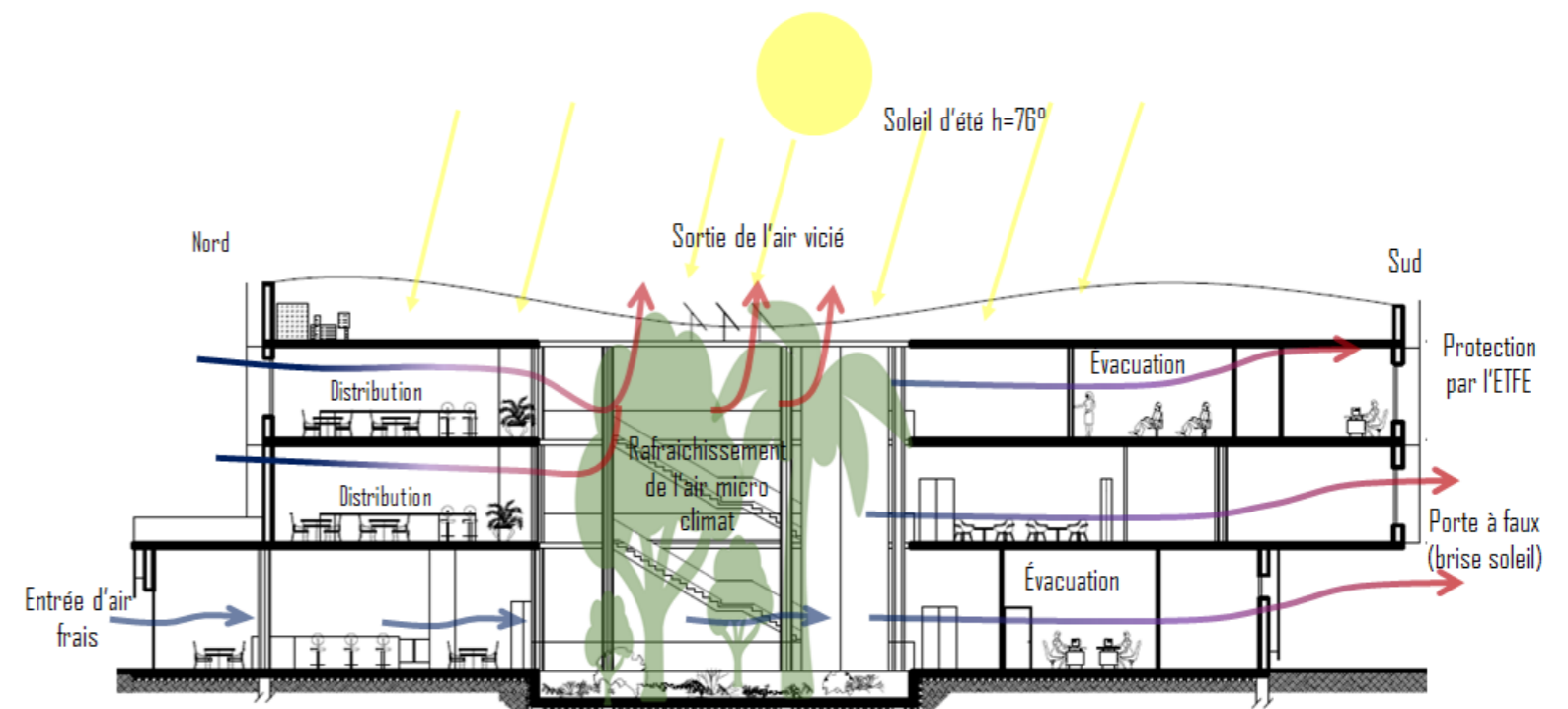


Figure 109: Coupe schématique représentant la Stratégie d'été basée sur le rafraîchissement passif par la ventilation naturelle.
Source : Auteurs.



Figure 110: Protection solaire pour la cafétéria du Bloc
Source : Auteurs

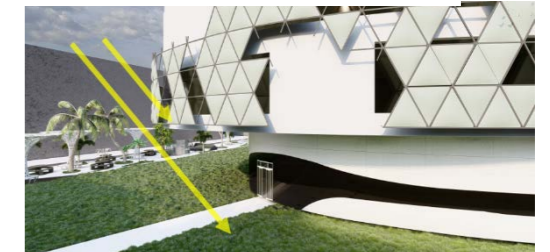


Figure 111: Protection solaire pour le RDC du bloc C
Source : auteurs.

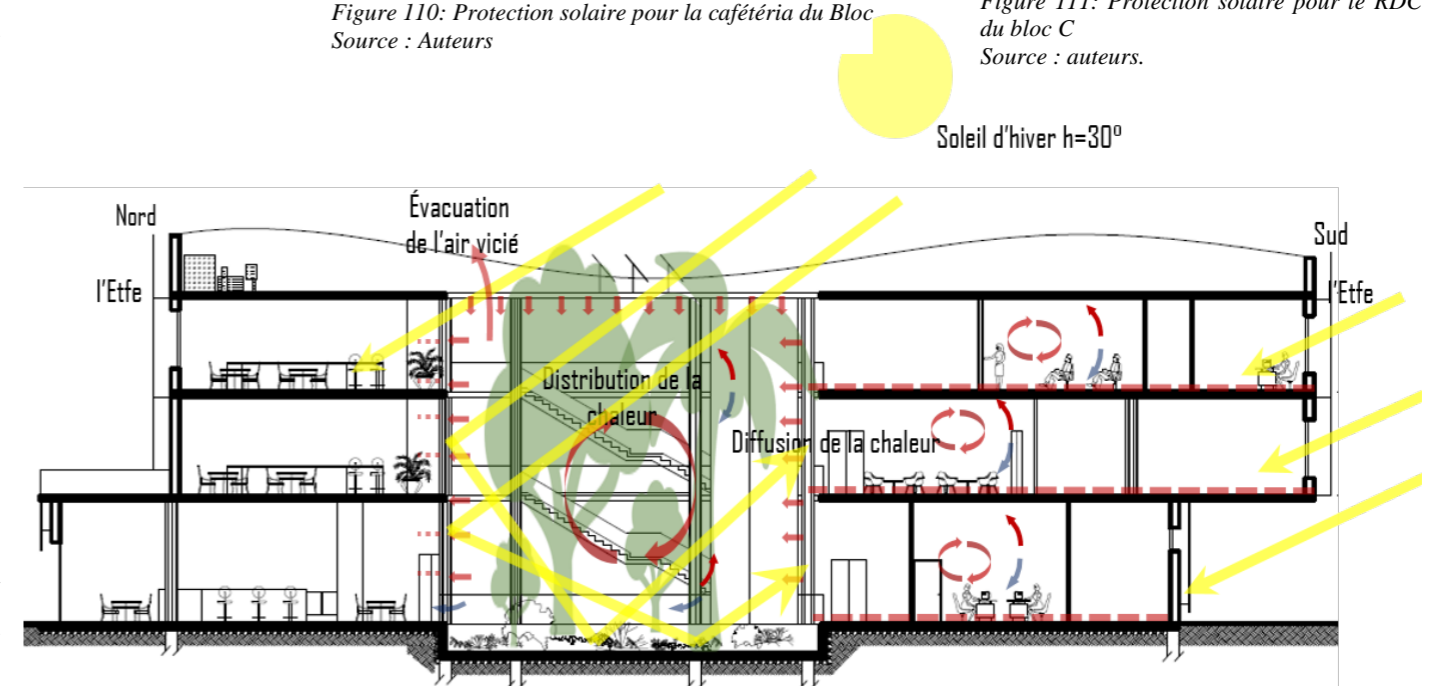


Figure 112: Coupe schématique représentant la stratégie d'hiver basé sur le chauffage passif.

IV.9.6. Le zoning thermique

Notre projet se développe en entité, ce qui nous a permis de réfléchir au principe du zoning thermique qui repose sur la capacité de réguler les températures, le chauffage, et le rafraîchissement de l'air indépendamment les unes des autres.

Le zoning thermique dans notre projet offre un meilleur confort thermique, Contrôle la consommation d'énergie, et piloté par le système de la GTB.

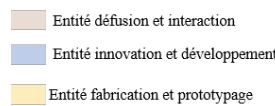


Figure 113: Représentation des zones thermiques du projet
Source : Auteurs.

IV.9.7. Dispositifs bioclimatiques actifs

IV.9.7.1. Un panneau solaire hybride

Un panneau solaire hybride, est un dispositif « hybride » conçu pour produire à la fois de l'électricité photovoltaïque et recueillir l'énergie thermique provenant du Soleil pour la transmettre à un fluide caloporteur.

Les panneaux solaire hybrides sont placés au niveau des toitures de l'entité innovation et développement et entité fabrication et prototype, orientés en plein sud. Permettent à la fois de produire plus de 40% de l'énergie électrique qui sera consommée par le

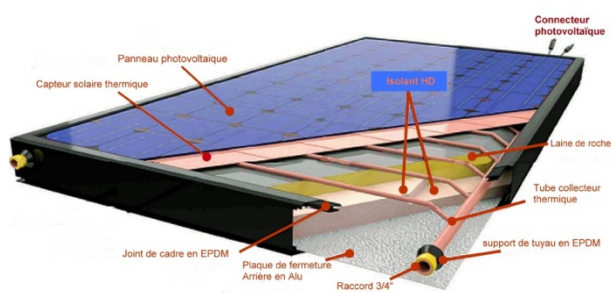


Figure 114: Panneau hybride
Source : : <https://www.cooltec.ch/page6.html>

bâtiment et d'alimenter le fluide caloporteur du plancher chauffant qui va assurer le chauffage d'une partie ces blocs en hiver et assurer également les besoins en eau chaude sanitaire.

IV.9.7.2. Un plancher chauffant solaire

Le plancher chauffant est composé de tubes installés entre la dalle et le revêtement de sol, reliés directement à des capteurs solaires. Ces capteurs sont des panneaux solaires, placés sur le toit du bâtiment. La chaleur du soleil est transmise au liquide caloporteur (du glycol ou de l'eau) contenu à l'intérieur du circuit de chauffage.

Dans notre projet, nous avons un plancher chauffant réversible, sur l'entité innovation et développement et entité fabrication et prototype, fonctionne en hiver seulement, qui est alimenté par l'eau chaude chauffé par les panneaux solaires hybrides, ce plancher chauffant fonctionne sur le principe du rayonnement par chaleur douce, se place comme un chauffage idéal, intégrant performance énergétique et confort maximale.

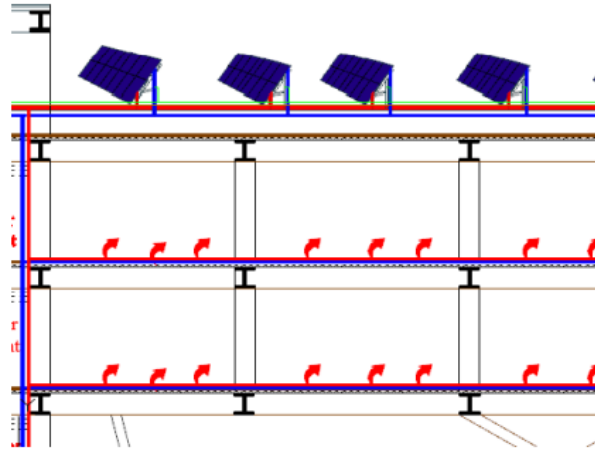


Figure 115: Plancher chauffant solaire.

Source : Centre d'innovation technologique des énergies renouvelables : pour un Hama technopole M750.

IV.9.7.3. Rafraîchissement et chauffage par la géothermie : fondations thermoactives.

Le principe des fondations thermoactives ou géo structures est simple. Il consiste, pour les pieux par exemple, à y intégrer lors de leur fabrication un système de captage de l'énergie constitué d'un réseau de tubes en polyéthylène noyé dans le pieu, renforcé par une armature en fer, et dans lequel il est possible de faire circuler en circuit fermé un fluide caloporteur (de l'eau complétée de glycol). Le système de captage de l'énergie est connecté à une pompe à chaleur.

Les fondations thermoactives servent donc à la fois d'éléments de portage du bâtiment et d'échangeurs de chaleur avec le terrain environnant permettant le chauffage et le refroidissement du bâtiment.⁴¹

⁴¹ <http://www.geothermie-perspectives.fr/article/pompe-chaleur-fondations-thermoactives>.

Ce système est utilisé dans notre projet, ce qui nous a permis d'exploiter la géothermie de la terre pour chauffer une bonne partie du projet en hiver à savoir la partie orientée au nord et de rafraîchir en été la partie orientée en plein sud.

Principe de fonctionnement

-En hiver : la pompe à chaleur extrait l'énergie du sous-sol par le biais des fondations thermoactives et la restitue, avec élévation de la température, au bâtiment, ce qui permet d'en assurer le chauffage. Le système permet de couvrir une partie des besoins de chauffage, le complément étant assuré alors par un chauffage d'appoint.

-En été : Le rafraîchissement est réalisé de deux manières différentes, soit directement, soit à l'aide de la pompe à chaleur réversible.

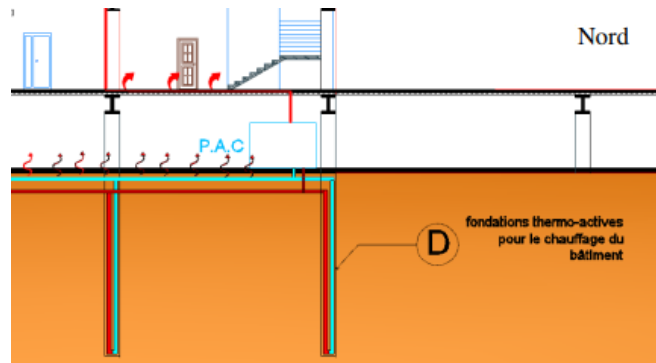


Figure 117: Les pieux thermoactifs en hiver.
Source : Centre d'innovation technologique des énergies renouvelables : pour un Hamma technopole M750

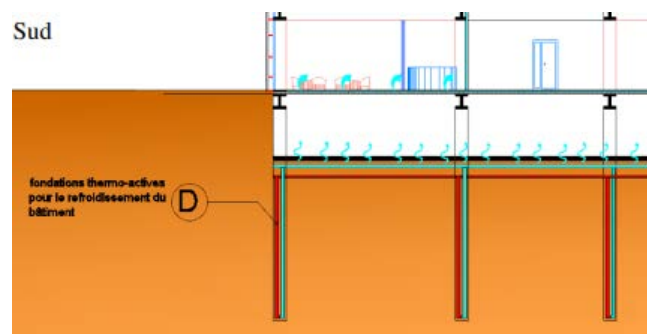


Figure 116: Les pieux thermoactifs en été.
Source : Centre d'innovation technologique des énergies renouvelables : pour un Hamma technopole M750

IV.9.7.4. VMC double flux

Une VMC double flux fonctionne sur le même principe qu'une VMC simple flux, la principale différence est la présence d'un récupérateur de chaleur. En hiver, celui-ci permet d'utiliser la chaleur de l'air vicié extrait du bâtiment pour préchauffer l'air neuf venant de l'extérieur.

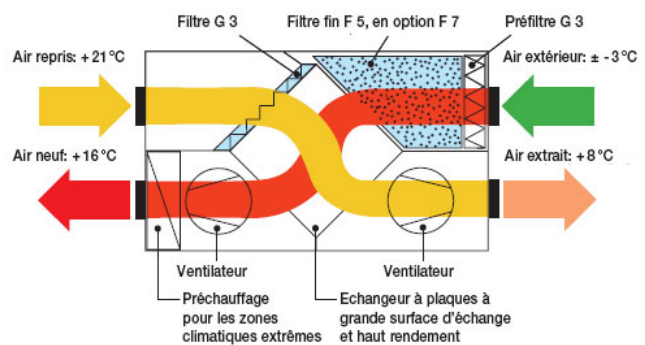


Figure 118: Principe de fonctionnement de la double flux.
Source : <https://www.climamaison.com/>

L'intérêt majeur d'une VMC double flux est donc de limiter les pertes de chaleurs dues à la ventilation. Ce système permet ainsi de réduire la consommation de chauffage. En été, tout

comme le système simple flux par insufflation, il peut être couplé à un dispositif de rafraîchissement passif. Il assure également une meilleure qualité d'air intérieur en filtrant l'air entrant et permet un meilleur confort thermique et acoustique en réduisant la sensation de courant d'air froid pouvant être ressenti avec une VMC simple flux, cela grâce à l'absence d'entrée d'air dans les pièces principales.

Ce dispositif est installé dans l'entité diffusion et interaction pour assurer l'aération de l'auditorium et éviter les déperditions thermiques en hiver tout en assurant un renouvellement d'air à l'intérieur des espaces.

IV.9.7.5. Les dalles cinétiques de l'énergie en marchant

Ce sont des dalles de forme carrées avec un module de conversion qui produit l'énergie. Chaque pas sur la dalle produit une pression et un mouvement vertical qu'est capté par le module. C'est ce système qui transforme l'énergie cinétique produite par le pas de l'utilisateur en énergie électrique. Conçue à partir de pneus de camion recyclés, ces dalles transforment



Figure 119: Dalle cinétique.

Source : *De l'énergie en marchant - Ludikenergie*

chaque pas frappant le sol en watts, de 4 à 7 selon le poids de l'individu. Cette électricité sera stockée dans les batteries pour l'utilisation ultérieure.

IV.9.7.6. Façade à double peau en ETFE

Pour s'inscrire dans un bâtiment intelligent nous avons opté pour le dispositif façade à double peau en ETFE.

La partie la plus représentative de notre projet est les façades, une peau vivante en ETFE polymère fluoré thermoplastique si particulier, Léger, recyclable, résistant, peu cher et laissant passer la lumière tout en filtrant les UV, Encore jeune, ce matériau est encore en pleine mutation utilisé dans le projet de la Media TIC apportant à l'ETFE des possibilités nouvelles.

C'est un système d'économie d'énergie, étudiées indépendamment selon leur orientation. Les plus exposés sont revêtus de **coussins ETFE** avec deux brevets différents :

Le système « **diaphragme** », rend le revêtement « intelligent » en le bardant de capteurs de lumières qui activent de manière autonome des chambres à air qui gonflent différentes couches d'ETFE possédant un dessin à leur surface. L'action de ces bonbonnes fait se chevaucher ces couches, ce qui diminue la lumière qui rentre lorsque le soleil « tape » trop (et inversement peut laisser passer plus de lumière lorsqu'il fait sombre).

Cette technologie rend ainsi l'isolation plus active, et permettra une économie de 20% sur la climatisation. Il faut savoir que de base, à l'instar du Cube d'eau, de l'air étant emprisonné dans les « bulles » de la structure, l'isolation thermique apportée par le matériau est déjà très intéressante.

La seconde technologie, l'ETFE « **Brouillard** », Il consiste à pulvériser du nitrogène sur quelques bulles du revêtement pour diminuer d'un facteur 4 le rayonnement solaire reçu !

La couche extérieure est transparente, tandis que la couche centrale et la couche intérieure ont un motif qui, grâce à un **système pneumatique**, forme une couche opaque. Les coussins sont **anti-adhésifs**, ils ne demandent donc pas d'entretien de nettoyage et ne perdent pas d'élasticité, de transparence et de dureté avec le temps.

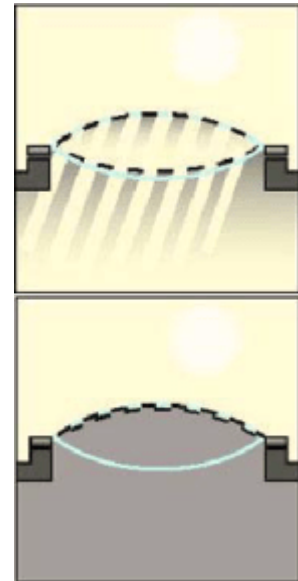


Figure 120 : ETFE Diaphragme.
Source : <https://www.urbanews.fr/2010/04/13/3145-media-tic-un-nouvel-immeuble-a-bulles-a-barcelone/>



Figure 121: Façade en ETFE de l'entité innovation et développement.
Source : Auteurs.

IV.9.8. Les systèmes de gestion du bâtiment

Notre projet, un bâtiment intelligent et connecté composé :

-D'un éclairage LED sur l'ensemble du bâtiment, basé sur les nouvelles, avec des luminaires alimentés par un câblage réseau et dont l'intensité lumineuse est réglable individuellement en fonction de l'utilisation des espaces ;

-de capteurs de température, luminosité, hygrométrie, qualité de l'air, présence, détection d'ouverture/fermeture, etc. permettant de collecter des informations sur les paramètres du bâtiment et fournissant des données d'entrée pour l'optimisation de son fonctionnement et la réduction de son empreinte environnementale. Ces capteurs seront connectés en filaire ou en sans-fil en fonction de leur positionnement et fonctionnalité ;

-d'un système piloté de chauffage / climatisation basé sur une pompe à chaleur réversible ;

-d'une VMC double flux pilotable ;

-d'un système de comptage électrique global, par entité ;

-d'un système de GTB, logiciel ou ensemble de logiciels et matériels permettant de collecter et consulter les données du bâtiment et de régler et interagir avec les différents équipements (éclairage, chauffage, ventilation, climatisation, etc.) ;

--d'un système de vidéosurveillance ;

-d'une station météo ;

-d'une infrastructure réseau filaire (IP) et sans fil (WiFi) complète, afin d'assurer l'interconnexion des différents équipements, capteurs, actionneurs

IV.9.9. Parois et matériaux

IV.9.9.1 Les panneaux sandwich

Pour nos surfaces opaques horizontales et verticales, nous avons opté pour des panneaux sandwichs. La production de ces derniers est l'une des technologies les plus récentes. Ces panneaux sont constitués de revêtements et d'un noyau de construction-isolation. Au cours du processus de production, un adhésif polyuréthane est utilisé pour joindre le noyau et le

revêtement. Il devient de plus en plus courant de joindre quelques feuilles d'isolement en cours de fraisage. L'âme du panneau est constituée de matériaux tels que la mousse de polyuréthane, la laine minérale, le polystyrène expansé ou extrudé, etc. Nous avons choisi les panneaux sandwich pour plusieurs raisons :



Figure 122: Panneau sandwich.

Source : <https://www.maine-agrotec.fr/produits/les-panneauxsandwichs/?fbclid=IwAR25Um06WWE2AQKJZcDwARMa1v2ZoTAAhy81KLL0M0eWMfyQNHmbQORhu8>

- Ils possèdent une bonne capacité portante.

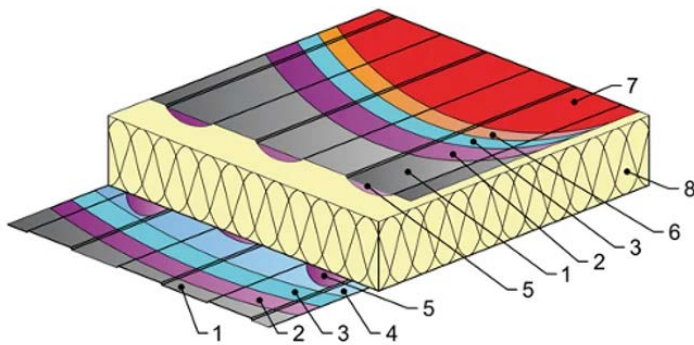
La portée utile des panneaux Permet l'espacement des supports donc ils économisent des structures portantes, affirmé par La norme PN-EN 14509 : 2013-12, « Panneaux sandwich isolants et de construction à face métallique autoportants. Produits fabriqués en usine. Caractéristiques » ;

- Une mise en œuvre facile et rapide ;
- Ils présentent des performances thermiques et acoustiques élevé et de haute qualité ;
- La préservation de la surface habitable ;
- La belle finition (niveau esthétique) ;
- Une excellente résistance à l'humidité.

Les composantes d'un panneau sandwich

- *Couches extérieures* : deux panneaux profilés de 3 mm d'épaisseur environ, légers, robustes, résistent au climat, intempérie, eau, condensation, corrosion, feu, et rayons ultraviolets. Cette couche peut être en acier galvanisé, aluminium, tôle, contre-plaqué marine, fibre de verre, polyester.
- *Revêtement (couverture)* : il doit être esthétique, lisse et léger. Une large gamme de matériaux peut être utilisés, à citer : l'acier galvanisé, laqué, polyester, plastisol, PVDF, PVC, acier, aluminium, zinc, acier inoxydable...etc.
- *Couche d'isolant intérieur* : elle est rigide d'environ 30 à 200 mm d'épaisseur, elle garantit des paramètres d'isolation thermique et acoustique, elle corrige et maintient une distance correcte par rapport au revêtement, adaptée aux forces travaillant au sein du système.

Exemple de structure d'un panneau sandwich



- 1-âme en acier de la feuille,
- 2-revêtement de zinc,
- 3-couche de passivation,
- 4-verniss protecteur,
- 5-adhésif,
- 6-couche d'apprêt,
- 7-couche de surface décorative,
- 8-noyau de matériau d'isolation thermique

Figure 123: structure d'un panneau sandwich

Source : <https://www.products.pcc.eu/fr/blog/adhesifs-polyurethanes-et-nouvelles-technologies-de-construction/>

IV.9.9.2 La laine de roche

Pour notre cas, nous avons choisi un isolant en laine minérale qui est la laine de roche. C'est un isolant polyvalent et recyclable qui peut être utilisée pour isoler les toitures inclinées (par l'intérieur) et les toitures plates, les sols ,Les murs intérieurs, extérieurs et les murs creux ; Les plafonds.



Figure 124: panneau de laine de roche

Source : <https://www.e-sfic.fr/p/plafonds-cloisons-isolation/panneau-en-laine-de-roche-rigide-non-revetu-rei-120-rapporte-sous-dalle-120mm-1-2x0-6m-r-3-45-m2-k-w-acermi-n-07-015-443-A1988802>

Avantages de la laine de roche

- *Bonne isolation thermique et acoustique* : la laine de roche est un bon isolant thermique, qui permet d'éviter les pertes de chaleur, et un excellent isolant acoustique. C'est donc un très bon choix pour réduire les nuisances sonores.

Incombustible : la laine de roche ne s'enflamme pas, ce qui en fait un bon matériau pour la protection contre les incendies. On l'utilise souvent pour les gaines de ventilation et les canalisations.

IV.9.9.3 Le corian un matériau pour une double peau

C'est un matériau durable et robuste dont les panneaux peuvent généralement être réparés en cas de besoin.

Un produit fiable au palmarès impressionnant, sécurisé en termes d'utilisation et sans aucun impact négatif sur la qualité de l'air.

Un matériau solide, facile à entretenir et ne nécessite pas de traitements de surface.

Il résiste aux agents atmosphériques et à la décoloration due aux UV.

Haute résistance aux chocs et aux déformations

Prescription des systèmes de fixation

Le système de fixation généralement utilisé pour monter des panneaux de revêtement Corian est un système mécanique basé sur un système de grille d'aluminium constituée de profilés verticaux en forme de « T » ou de « L », montées sur des carrés d'aluminium reliés au support.

Tout le système de fixation permet aux panneaux Corian se dilater dans toutes les directions.

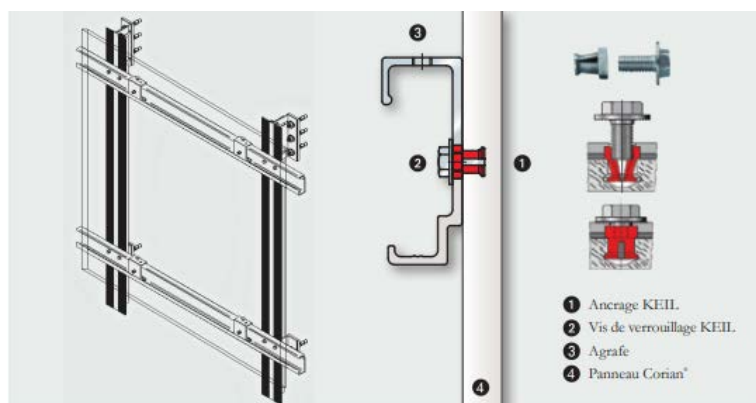


Figure 125: Systèmes de fixation du corian.

Source : <https://www.modecocreation.be/wpcontent/uploads/2019/10/corianxx-revextement-de-facxxades.pdf>

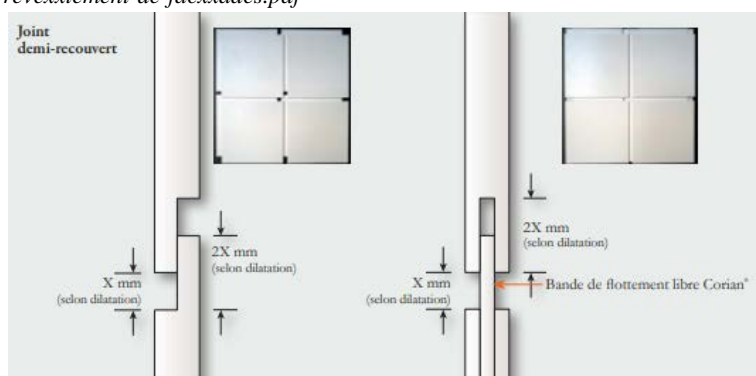


Figure 126: systèmes de fixations du corian.

Source : <https://www.modecocreation.be/wpcontent/uploads/2019/10/corianxx-revextement-de-facxxades.pdf>

IV.9.9.4 Le verre comme enveloppe isolante

Pour répondre au problème de l'éclairage naturel au sein de notre projet, nous avons eu recours à de grandes surfaces vitrées sur les façades, pour cela nous avons choisis des verres qui vont nous permettre d'assurer un confort d'ambiance et un éclairage naturel souhaité dans les différents espaces du projet en saison froide comme en saison chaude, et cela par :

Double vitrage de contrôle solaire à haute sélectivité et à isolation thermique Renforcée

CLIMAPLUS XTREME est un double vitrage de contrôle solaire, à Isolation Thermique Renforcée. Un de ses composants, le verre COOL-LITE XTREME qui a été revêtu, par pulvérisation cathodique sous vide, d'une couche peu émissive à facteur solaire bas et haute transmission lumineuse. Le double vitrage CLIMAPLUS XTREME permet .

-En été et en intersaison, il réduit fortement les risques de surchauffe dus à l'ensoleillement des surfaces vitrées.

-En hiver il assure une excellente isolation thermique.

-La transmission lumineuse est particulièrement élevée (60 %) pour un vitrage de contrôle solaire aussi performant ; elle procure une ambiance claire et naturelle.

-Grâce à son excellent facteur solaire ce vitrage réfléchit la chaleur du soleil.

-Il apporte un confort thermique accru, avec des températures plus agréables en été.

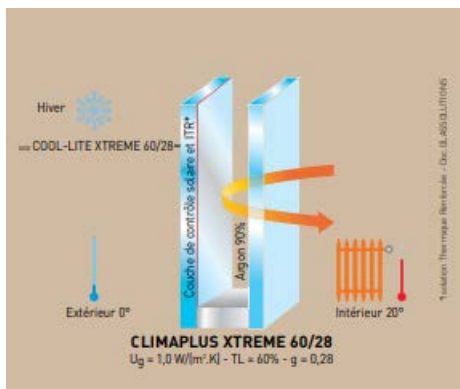


Figure 128: Fonctionnement du vitrage isolant en hiver.

Source : [57 CLIMAPLUS XTREME 6028 \(2\).pdf](#)

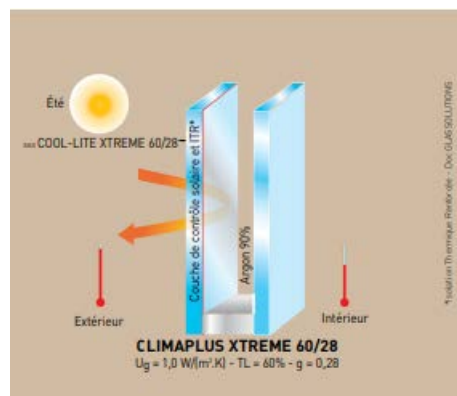


Figure 127: fonctionnement du vitrage isolant en été.

IV.9.9.5 Pavé écologique

Pour le revêtement extérieur des parcours, du parvis, nous avons opté pour des pavés extérieurs perméables en béton à joints élargis dont les faces latérales en béton sont pourvues d'arêtes ou d'écarteurs, ce qui, une fois posé crée un joint plus large, l'eau s'écoule ensuite au

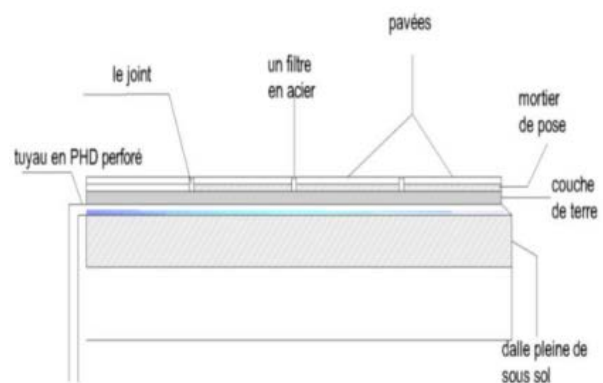


Figure 129: Pavé écologique.

Source : Dispositif / Revêtements perméables / Guide Bâtiment Durable (guidebatimentdurable.brussels)

travers de ces joints vers les fondations et le sol. L'eau drainée sera récupérée dans le bassin de récupération des eaux pluviales.

IV.9.10. Système constructif

Dans cette partie du chapitre, nous allons parler sur le type de système constructif utilisé dans la réalisation du projet, ainsi que sur le choix de l'infrastructure et la superstructure.

IV.9.10.1. Choix du système constructif

Le choix du système constructif est déterminant dans la phase de réalisation du projet, et doit répondre à des exigences fonctionnelles, spatiales et formelles tout en assurant la durabilité, la stabilité et l'économie, et en respectant les normes et les règlements structurels.

Ce choix s'est porté sur « les structures métalliques » pour les raisons suivantes :

- Le coût d'une construction à structure métallique revient de 10 à 30 % moins cher que les constructions en béton armé ;
- La rapidité de la construction d'une structure métallique ;
- Un bon comportement vis-à-vis du séisme, dû à la ductilité du métal ;
- La structure métallique est durable dans le temps.
- La structure métallique est légère et s'adapte à toutes les formes architecturales.

IV.9.10.2. Infrastructure

Le choix du système de fondation dépend de la résistance du sol et du résultat de calcul des descentes de charges, elles permettent l'encrage de la structure au sol, de limiter les tassements différentiels et les déplacements horizontaux.

➤ Les murs de soutènement

Suite à des terrassements au niveau de l'entité interaction et diffusion du projet, des murs de soutènement en béton armé sont alors disposés. Ils permettent de répondre à plusieurs exigences comme la résistance a les poussées de terres et éviter les infiltrations d'eau. Ces voiles exigent un drainage périphérique.

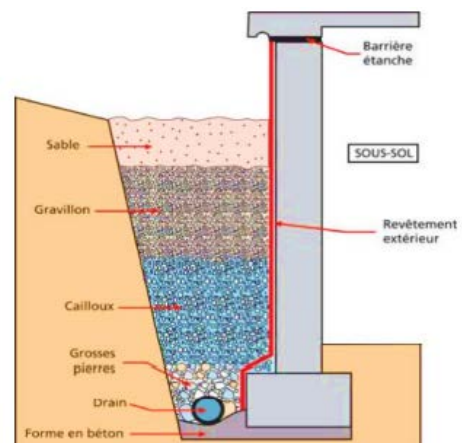


Figure 130: Détail de drainage des murs.
Source : : www.batirama.com

➤ Ancrage des poteaux

Les poteaux reposent sur le sol par l'intermédiaire de massifs en béton, auxquels ils sont ancrés par des boulons. La jonction des poteaux se fera par une platine à l'aide de tiges filtrées.

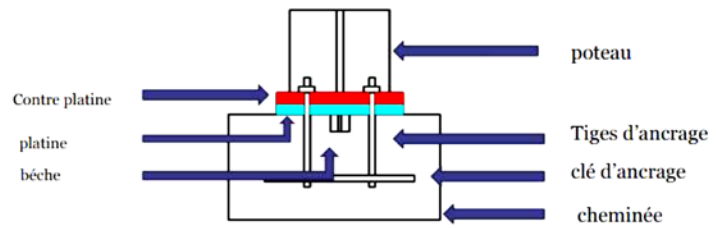


Figure 132: ancrage du pied de poteau métallique dans la fondation.
Source : fr2.slideshare.net.

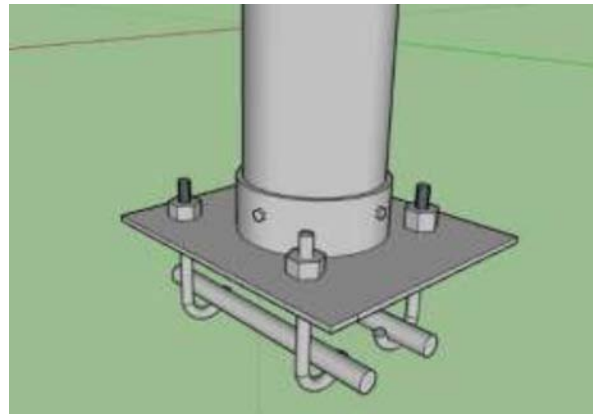
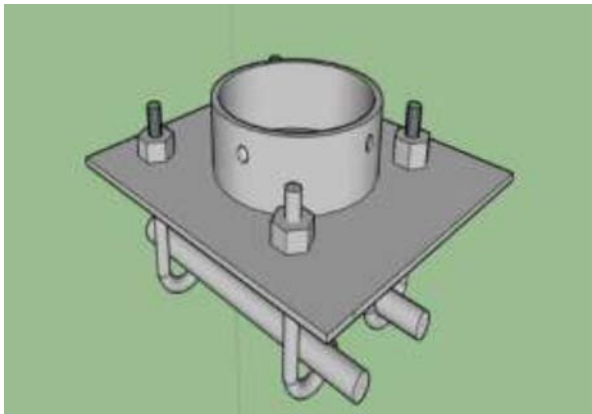


Figure 131: liaison entre les tiges et la platine.
Source : The green Learning Center à Tizi-Ouzou M681

- Détails constructif de l'assemblage de la structure métallique tubulaire.

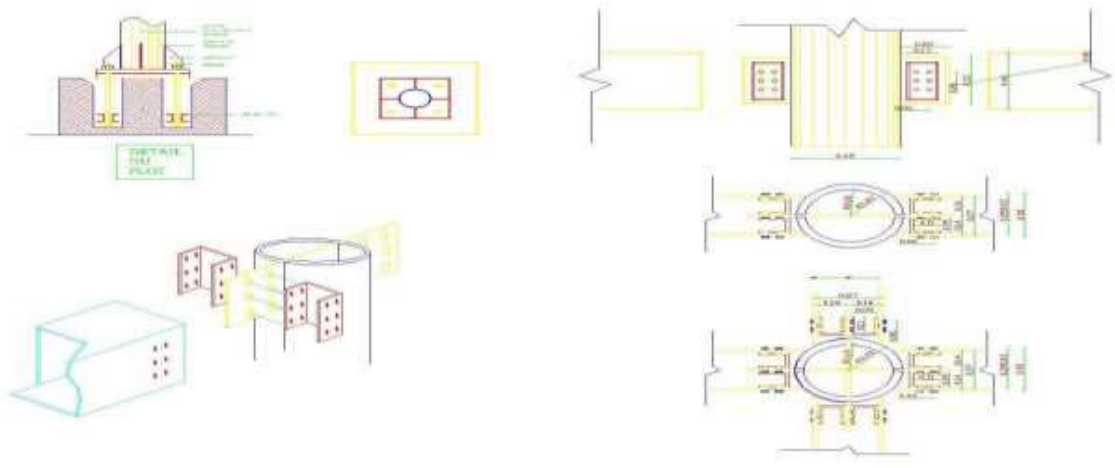


Figure 133: Détails constructif de l'assemblage de la structure métallique tubulaire.
Source : The green Learning Center à Tizi-Ouzou M681

IV.9.10.3. Superstructure

➤ Poteaux

Notre choix c'est porté sur des poteaux tubulaires ronds à profils creux, pour une meilleure adaptation a la forme du projet.

| | |
|---------------------------------|---|
| ■ Poteau en acier | ■ Emballage par une feuille d'aluminium |
| ■ Couche CBC anti humidité | ■ Plenum de retour d'air |
| ■ Fibres céramiques contre feux | ■ Habillage en aluminium |

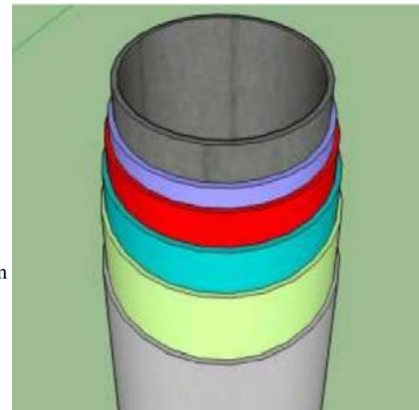


Figure 134: revêtement d'un poteau tubulaire.

Source : The green Learning Center à Tizi-Ouzou M681

➤ Poutres

Ce sont des éléments porteurs horizontaux qui transmettent les charges et surcharges aux poteaux, la nécessité de les développer sur une grande portée pour dégager des espaces flexibles.

En raison de grande portée dans notre projet et pour permettre le passage d'installations des techniques, tout en allégeant notre structure au maximum, notre choix s'est porté sur les poutres alvéolaires.



Figure 135: Poutre alvéolaires.

Source : www.archiexpo.fr

➤ Assemblage poteaux poutres

L'assemblage désigne un dispositif constructif destiné à réunir ensemble deux ou plusieurs pièces de sorte à assurer la bonne transmission des efforts.

Le type d'assemblage choisi est l'assemblage par boulonnage avec des éclisses soudées sur le poteau, Cette dernière qui est une platine soudée à l'extrémité de poteau.

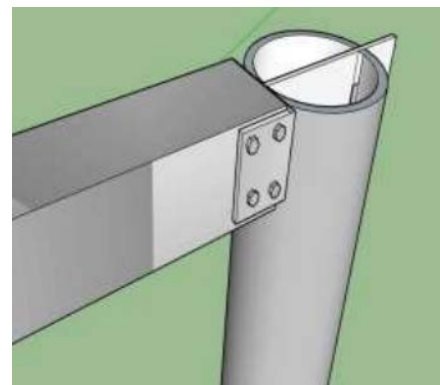


Figure 136: liaison poteau et poutre métallique.

Source : The green Learning Center à Tizi-Ouzou M681

Conclusion

Dans la partie « approche architecturale » que nous avons établie, nous avons pu définir notre projet architectural en suivant une logique de conception qui prend appui sur différents paramètres du site, à savoir : les données physiques, naturelles ainsi que les données climatiques. L'ensemble de ces données nous a servi à penser le projet à partir de l'idéation à la formalisation en passant par la conceptualisation en faisant appel aux différents concepts dressés tout au long de notre travail. Ensuite, cette partie permet aux lecteurs de cerner et de comprendre le projet à travers une description que nous avons réalisée et qui met en avant les aspects formel, fonctionnel et structurel du projet, en outre des aspects bioclimatiques et les solutions intelligentes qui caractérisent notre projet et qui font que ce dernier soit un Smart Building inscrit dans l'option : « Architecture Bioclimatique et Environnement ».

Conclusion générale

Une œuvre architecturale est le fruit de l'interaction de plusieurs facteurs, relative au contexte, aux exigences du thème, aux avancées technologiques dans le domaine de la construction, ainsi que la vision du concepteur, ce qui explique la complexité du processus de conception architecturale.

IM Smart incubateur, est un bâtiment intelligent à vocation recherche dans le domaine des matériaux intelligents. Sa conception nous a permis de découvrir une architecture nouvelle dans son genre et à imaginer un projet smart dans la ville de Boumerdes tout en proposant des solutions qui ouvrent accès à sa réalisation, d'où le choix de la thématique et fonctions du bâtiment.

Notre incubateur retrouve parfaitement sa place dans le site choisi qui est la faculté des sciences technologiques de Boumerdes vu la présence de jeunes chercheurs dans les principales formations qui permettent l'innovation dans ce domaine. Cela leur apporte une opportunité de mettre en action leurs connaissances et d'exploiter leurs idées afin de développer leurs propres startups, faisant ainsi appel à la conception de bâtiments intelligents dans un futur proche en Algérie afin de lutter contre l'incontenance consommation des stocks énergétiques locaux, et opter pour une architecture plus productive qu'énergivore, en faveur d'un monde durable.

Le travail effectué nous a permis d'avoir une réponse favorable pour notre problématique, ainsi le smart building s'avère être l'une des solutions les plus efficaces qui permettent l'inscription d'un bâtiment dans le développement durable en apportant de nouvelles technologies afin d'optimiser les solutions passives.

Références bibliographiques

Cours

-CHABI Mohammed, l'architecture et les paramètres du climat, cours 2ème année Master,

UMMTO, 2019-2020.

« Diagramme bioclimatique de GIVONI », cours de Monsieur AIT KACI ZOHIR, 2ème année Master, UMMTO, 2020-2021.

Ouvrages

- GORI-RASSE Agnès, La transition énergétique et les communautés : Le bâtiment intelligent. URL : <https://www.adgcf.fr/upload/billet/607-livret-engie.pdf>
- BEDDIAR Karim, LEMALE Jean, 2016, Bâtiment intelligent et efficacité énergétique : Optimisation, nouvelles technologies et BIM, Dunod, 256 p.
- ALAIN CHATELET, PIERRE LAVIGNE, PIERRE FERNANDEZ, Architecture climatique : une contribution au développement durable, tome 2 : concepts et dispositifs. Edisud, 1998, 160 p.
- Pierre Neema, Le développement et l'architecture durable. URL : <https://fr.scribd.com/document/489814703/24-issue-almuhandess-english-french>

Conférence de presse

- Inauguration du bâtiment intelligent à énergie positive Adream, LAAS-CNRS, Mardi 3 juillet 2012, Laboratoire CNRS d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS) 7 avenue du colonel Roche 31077 Toulouse cedex 4

Autres références

- 2018 Global Status Report Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, dans Global Alliance for Buildings and construction. URL : <https://www.worldgbc.org/sites/default/files/2018%20GlobalABC%20Global%20Status%20Report.pdf>
- ABBES Zineb, 06/02/2021, « consommation énergétique en Algérie : une augmentation de 59% en moins de dix ans », Algérie 1. URL : <https://www.algerie1.com/economie/consommation-energetique-en-algerie-une-augmentation-de-59-en-moins-de-dix-ans>

- DESHAYES Philippe, 2012, « Le secteur du bâtiment face aux enjeux du développement durable : logiques d'innovation et/ou problématiques du changement », innovation, n°37, p. 219-236. URL : <https://www.cairn.info/revue-innovations-2012-1page-219.htm>
- HUGON Philippe, 2005, « Environnement et développement économique : les enjeux posés par le développement durable », Revue internationale et stratégique, n°60, p.113-126. URL : <https://www.cairn.info/revue-internationale-et-strategique-2005-4-page-113.htm>
- NADAL Simon, 30 juillet 2019, les nouvelles technologies au service de l'environnement, dans vie public. URL : <https://www.vie-publique.fr/parole-dexpert/268457-les-nouvelles-technologies-au-service-de-lenvironnement>
- Les bâtiments intelligents, fonctionnement et principaux avantages, dans Quelle Energie, par Effy URL : <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/domotique/batiments-intelligents>
- Smart city : quels liens entre technologies et respect de l'environnement dans la ville intelligente ? SYNOX : innovate together. URL : <https://www.synox.io/cat-smart-city/smart-city-environnement/>
- « Les matériaux de construction innovants, entre développement durable et technologie », 18/05/2018 ARCH et TECH. URL : <https://swissroc.ch/les-materiaux-de-construction-innovants-entre-developpement-durable-et-technologie/>
- Les matériaux intelligents dans le domaine du BTP dans le site OPUSS. URL : <https://opussamo.com/les-materiaux-intelligents-dans-le-domaine-du-btp/>

- SANCHO Virginie, 05/07/2017, « Les matériaux intelligents au service des bâtiments de demain », sur Construction 21 France, le médiateur social du bâtiment et de la ville durable. URL : <https://www.construction21.org/france/articles/h/les-materiaux-intelligents-au-service-des-batiments-de-demain.html>
- Mémoire d'architecture, Mhamed Alila, Métamorphose urbaine : Hub d'innovation à la poudrière SFAX. URL : https://issuu.com/alilamhamed/docs/m_tamorphose_urbaine_hub_d_innovati?fbclid=IwAR3Xb0xID9CWNREGkXXnDt7sd1oWxXgj4wE-FWk5LHmOrO_WncjWyGdpJcU
- Vers une architecture des tiers lieux ? Nouvelles pratiques pour nouvelles formes d'espace collectif. URL : https://issuu.com/etiennek./docs/ek_memoire_tiers-lieux

ANNEXES