



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

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA -1-  
INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME  
Département d'architecture

**Mémoire de Master en Architecture :**

Thème de l'atelier : Architecture, Environnement et Technologie

**Stratégies hybrides pour des bâtiments confortables et  
une architecture efficiente : De l'adoption de solutions  
passives à l'intégration des énergies renouvelables**

**P.F.E : Conception d'un centre de données « Data Centre » à la ville  
nouvelle de Sidi Abdellah (VNSA)**

Présenté par :

Mlle ABED Ouissem

Mlle ZEGAOUI Serine

Encadrées par :

Dr : KAOULA Dalel

Dr : BENCHEKROUN Marwa

Dr : BABA SLIMANE Nour El Houda

Membres de jury :

Présidente : Dr. KHELIFI Lamia

Examinatrice : Dr.ALIOUCHE Sihem

Année universitaire :2023/2024



## **Remerciement :**

Tout d'abord, nous exprimons notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, dont l'aide nous a permis de réaliser ce travail et d'arriver là où nous sommes aujourd'hui.

Ensuite, nous tenons à remercier nos encadreurs : KAOULA Dalel, BENCHEKROUN Marwa et BABA SLIMANE Nour El Houda. Leurs orientations, leurs conseils avisés et leur dévouement tout au long de cette année ont été une source constante de motivation, indispensable à la réussite de ce projet.

Nous exprimons également nos sincères remerciements à nos parents, frères, grands-parents et amis. Leur soutien moral et matériel, ainsi que leurs encouragements inconditionnels, ont été essentiels durant toute cette aventure académique.

Nous remercions les membres du jury : Dr. KHELIFI Lamia et Dr. ALIOUCHE Sihem pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs du Département d'Architecture de l'Université de Blida, dont nous avons bénéficié au cours des cinq dernières années, de leurs expériences et de leurs conseils.

## **Dédicace :**

Nous avons un grand plaisir de dédier ce travail à ceux que nous aimons le plus au monde : nos chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse et leur soutien tout au long de nos études. Nos chers frères et nos amies pour leurs encouragements permanent et leur soutien moral, et nos chers amis sans exception ainsi que toute la famille et tous nos camarades qui ont nous aider

ABED OUISSEM ET ZEGAOUI SERINE

## Résumé :

En 2024, l'Algérie fait face à plusieurs défis énergétiques majeurs. D'une part, la dépendance aux hydrocarbures, qui présentent un risque d'épuisement et menacent notre environnement demeure importante. D'autre part, la consommation énergétique ne cesse de croître en raison de l'augmentation de la population et de la croissance économique du pays. Cette double contrainte souligne la nécessité urgente de repenser notre approche énergétique et de trouver des solutions durables pour répondre à cette demande tout en préservant l'environnement.

C'est dans ce contexte que nous avons choisi le thème de notre mémoire de fin d'études : « *Bâtir le futur : Stratégies hybrides pour des bâtiments confortables et une architecture efficiente : De l'adoption de solutions passives à l'intégration des énergies renouvelables* » qui vise à démontrer comment l'adoption de solutions passives et la combinaison entre deux sources d'énergie renouvelables peuvent créer une architecture durable et efficace, adaptée aux besoins contemporains tout en réduisant l'empreinte écologique.

Notre approche s'appuie sur la réduction de la consommation d'énergies fossiles et en les remplaçant par des énergies renouvelables et l'utilisation de stratégies passives, qui incluent des techniques telles que l'orientation optimale des bâtiments, l'isolation thermique, la ventilation naturelle. Ces stratégies permettent de minimiser les besoins énergétiques tout en maximisant le confort thermique des occupants. Nous intégrons également les concepts de développement durable et d'architecture bioclimatique pour atteindre une efficacité énergétique optimale.

Cela implique l'utilisation de technologies avancées pour créer des bâtiments qui non seulement répondent aux besoins actuels, mais sont également capables de s'adapter aux futurs défis énergétiques.

Notre projet se concentre particulièrement sur la conception d'un data center dans la Ville nouvelle de Sidi Abdellah, un projet novateur en Algérie qui est connus pour leur consommation énergétique élevée et la chaleur considérable qu'ils génèrent et présente des défis majeurs en termes de gestion thermique et d'efficacité énergétique.

En appliquant des stratégies hybrides qui combinent entre les solutions passives et les énergies renouvelables, nous visons à développer un modèle de data center durable qui pourrait servir de référence pour d'autres projets similaires dans le pays et au-delà.

En conclusion, notre mémoire s'efforce de démontrer qu'il est possible de bâtir un futur où l'architecture allie confort et efficacité énergétique, tout en étant respectueuse de l'environ-

nement. Par l'intégration de solutions passives et l'utilisation judicieuse des énergies renouvelables, nous pouvons contribuer à réduire notre dépendance aux énergies fossiles et à promouvoir un développement durable, tout en assurant le bien-être des occupants des bâtiments, et c'est notre responsabilité en tant que futurs architectes.

**Mot clé :**

Développement durable, architecture bioclimatique, énergies renouvelables, Efficacité énergétique, stratégies passives.

## ملخص

في عام 2024، لازالت الجزائر تواجه عدة تحديات كبرى في مجال الطاقة. فمن ناحية، الاعتماد على المحروقات التي تشكل خطر النفاد وتهدد بيئتنا لازال كبيراً. ومن ناحية أخرى، استهلاك الطاقة مستمر في الزيادة بسبب تزايد السكان والنمو الاقتصادي للبلاد. هذه الضغوط المزدوجة تؤكد وجود حاجة ملحة لإعادة التفكير في نهجنا تجاه الطاقة وإيجاد حلول مستدامة لتلبية هذا الطلب مع الحفاظ على البيئة.

في هذا السياق، اخترنا موضوع مذكرة نهاية دراستنا: «بناء المستقبل: استراتيجيات هجينة لتحقيق مبانٍ مريحة وهندسة معمارية فعالة: من تبني الحلول السلبية إلى دمج الطاقات المتجددة»، الذي يهدف إلى إظهار كيف يمكن لتبني الحلول السلبية والجمع بين مصدرين للطاقة المتجددة خلق هندسة معمارية مستدامة وفعالة، تتناسب مع الاحتياجات المعاصرة وتقلل من البصمة البيئية.

منهجيتنا في العمل تعتمد على تقليل استهلاك الطاقات الأحفورية واستبدالها بالطاقات المتجددة واستخدام الاستراتيجيات السلبية، التي تشمل تقنيات مثل التوجيه الأمثل للمباني، العزل الحراري، والتهوية الطبيعية. هذه الاستراتيجيات تسمح بتقليل الاحتياجات الطاقوية إلى الحد الأدنى مع زيادة الراحة الحرارية للسكان إلى أقصى حد. كما ندمج أيضاً مفاهيم التنمية المستدامة والهندسة المعمارية المناخية لتحقيق كفاءة طاقة مثلى.

هذا يشمل استخدام التقنيات المتقدمة لإنشاء مبانٍ لا تلبى الاحتياجات الحالية فحسب، بل تكون قادرة أيضاً على التكيف مع التحديات الطاقوية المستقبلية.

مشروعنا يركز بشكل خاص على تصميم مركز بيانات في المدينة الجديدة بسيدي عبد الله، وهو مشروع مبتكر في الجزائر المعروف باستهلاكه العالي للطاقة والحرارة الكبيرة التي يولدها، مما يشكل تحديات كبيرة في إدارة الحرارة والكفاءة الطاقوية. من خلال تطبيق استراتيجيات هجينة تجمع بين الحلول السلبية والطاقات المتجددة، كما نسعى إلى تطوير نموذج لمركز بيانات مستدام يمكن أن يكون مرجعاً لمشاريع أخرى مماثلة في البلاد وخارجها.

في الختام، تسعى مذكرة نهاية دراستنا إلى إثبات أنه من الممكن بناء مستقبل يجمع فيه بين الراحة وكفاءة الطاقة في الهندسة المعمارية، مع احترام البيئة. من خلال دمج الحلول السلبية والاستخدام الحكيم للطاقات المتجددة، يمكننا المساهمة في تقليل اعتمادنا على الطاقات الأحفورية وتعزيز التنمية المستدامة، مع ضمان رفاهية شاغلي المباني، وهذا هو واجبنا كمعماريين مستقبليين

### الكلمات المفتاحية:

التنمية المستدامة، العمارة المناخية الحيوية، الطاقات المتجددة، الكفاءة الطاقوية، الاستراتيجيات السلبية.

# Abstract

In 2024, Algeria faces several major energy challenges. On the one hand, dependence on hydrocarbons, which pose a risk of depletion and threaten our environment, remains significant. On the other hand, energy consumption continues to grow due to population increase and the country's economic growth. This dual constraint highlights the urgent need to rethink our approach to energy and find sustainable solutions to meet this demand while preserving the environment.

It is in this context that we have chosen the theme for our final study thesis: "Building the Future: Hybrid Strategies for Comfortable Buildings and Efficient Architecture: From the Adoption of Passive Solutions to the Integration of Renewable Energies." This work aims to demonstrate how adopting passive solutions and combining two renewable energy sources can create sustainable and efficient architecture, adapted to contemporary needs while reducing the ecological footprint.

Our approach relies on reducing the consumption of fossil fuels and replacing them with renewable energies and using passive strategies, which include techniques such as optimal building orientation, thermal insulation, and natural ventilation. These strategies minimize energy needs while maximizing the thermal comfort of occupants. We also integrate concepts of sustainable development and bioclimatic architecture to achieve optimal energy efficiency.

This involves using advanced technologies to create buildings that not only meet current needs but are also capable of adapting to future energy challenges. Our project focuses particularly on the design of a data center in the new city of Sidi Abdellah, an innovative project in Algeria known for its high energy consumption and significant heat generation, presenting major challenges in thermal management and energy efficiency.

By applying hybrid strategies that combine passive solutions and renewable energies, we aim to develop a model of a sustainable data center that could serve as a reference for other similar projects in the country and beyond.

In conclusion, our thesis strives to demonstrate that it is possible to build a future where architecture combines comfort and energy efficiency while being environmentally friendly. By integrating passive solutions and wisely using renewable energies, we can contribute to

reducing our dependence on fossil fuels and promoting sustainable development while ensuring the well-being of buildings occupants. This is our responsibility as future architects.

**Key words:**

Sustainable development, bioclimatic architecture, renewable energies, energy efficiency, passive strategies.

# TABLE DES MATIERES

Remerciement :	3
Dédicace :	4
Résumé :	5
ملخص	7
Abstract	8
Chapitre 01 : Chapitre introductif	15
Chapitre introductif :	16
1-Introduction générale :	16
2-Thématique générale :	18
3-Problématique générale :	24
4-Problématique spécifique :	28
5-hypothèses de la recherche :	29
6-Objectifs de la recherche :	29
7-Méthodologie de travail :	29
8-Structure du mémoire :	33
CHAPITRE 02 : État de l'art	34
-Introduction :	35
1- L'architecture et le développement durable :	35
1-1-Definition du développement durable :	35
1-2-Les 3 piliers et les principes du développement durable :	36
1-2-1-Les 3 piliers du développement durable :	36
1-2-2-Les quartes principes fondamentaux de développement durables :	37
1-3- Les acteurs du développement durable :	37
1-4- L'architecture durable :	38
2- L'architecture Bioclimatique :	39
2-1- définition de L'architecture Bioclimatique :	39
2-2- Les paramètres de l'architecture bioclimatique :	40
2-2-1- les paramètres environnementaux :	40
2-2-2- les paramètres architecturaux :	42
2-3- Les principes de l'architecture bioclimatique :	44
3-Les énergies renouvelables en architecture :	44
3-1 Histoire de l'énergie :	44
3-2 Définition des énergies renouvelables :	45

3-3 L'énergie solaire en architecture :	45
1) L'énergie solaire thermique :	45
2) Énergie photovoltaïque :	46
3-3-1 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :	46
3-3-1-a Les avantages :	46
3-3-1-a Les inconvénients :	46
3-3-2 Le système photovoltaïque :	46
3-3-3 Les facteurs affectant le rendement de système photovoltaïque :	49
3-3-4 Fonctionnement d'un panneau photovoltaïque :	51
3-3-5 Exemples des projets :	51
Bullitt Center (Seattle, USA) :	51
Pearl River Tower (Guangzhou, China) :	53
3-4-L'énergie éolienne en architecture :	54
3-4-1 Définition de l'énergie éolienne et son importance :	54
3-4-2 Les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne :	55
3-4-2-a Les avantages de l'énergie éolienne :	55
3-4-2-b Les inconvénients de l'énergie éolienne :	55
3-4-3 Composants d'une éolienne :	55
3-4-4 Les types d'éolienne :	56
Les éoliennes à axe horizontal :	56
4-L'efficacité énergétique :	58
4-1 définition de l'efficacité énergétique :	58
4-2 Objectifs de l'efficacité énergétique :	59
4-3 Les avantages de l'efficacité énergétique :	59
4-4 Les principes de l'efficacité énergétique :	59
4-5- Les bâtiments à efficacité énergétique :	60
5-1 définition du confort :	61
5-2 Les types du confort :	61
5-2 -1 Le confort thermique :	61
5-2-2 Les paramètres qui affectent le confort thermique :	63
6-Le centre des données (Data center) :	65
6-1- définition de data center :	65
6-2 Un Green data center :	65
6-3- Le rôle d'un data center :	66
6-4- Carte de localisation des Data center à Paris et dans le monde :	67
6-5- Choix de l'emplacement de centre de données :	67

6-6- Types de centres de données :	_____	68
6-5-1-Centres de données d'entreprise (sur site) :	_____	68
6-5-2-Centres de données cloud publics :	_____	68
6-5-3-Centres de données gérés et installations de colocation :	_____	68
6-7- Les classifications d'un centre de données :	_____	68
6-8-Le fonctionnement d'un centre de données :	_____	69
6-9-Les défis des centres de données :	_____	70
6-10µ-Analyse des exemples des data centers :	_____	71
6-8-1Analyse de premier exemple : Naver data center (Sejong, Corée du Sud)	_____	72
Conclusion :	_____	74
Chapitre 03 : Cas d'étude	_____	75
Introduction :	_____	76
1-Analyse territoriale :	_____	76
1-1-Les critères de choix de La ville de sidi Abdellah :	_____	76
1-2- Fiche technique de la nouvelle ville de Sidi Abdellah :	_____	76
1-3-La situation de la ville :	_____	76
1-4-L'accessibilité :	_____	78
2-Analyse de la ville nouvelle de Sidi Abdellah :	_____	79
2-1-Programme globale de la ville nouvelle :	_____	79
2-2-Analyse de master plan de VNSA :	_____	80
2-3- les concepts clés de la ville :	_____	82
2-4-La hiérarchisation de la ville :	_____	84
3-Analyse environnementale :	_____	86
3-1-Le Climat et les précipitations :	_____	86
3-2- La température :	_____	86
3-3-La précipitations :	_____	86
3-4-Topographie :	_____	87
3-5-Déclivités :	_____	88
3-6-Géologie & géotechnique :	_____	88
3-7-Sismicité :	_____	89
4-Analyse climatique :	_____	89
4-1-la température :	_____	89
4-2-la Précipitation :	_____	90
4-3-la vitesse du vent :	_____	91
4-4-L'humidité :	_____	92

4-5-Diagramme radar climatique de Sidi Abdellah :	92
5-Présentation de l'aire d'intervention :	93
5-1 Cyber parc :	93
5-2 Situation du cyber parc :	93
5-3-les bâtiments existents et futures :	94
6- Analyse de l'aire d'intervention :	96
6-1-Les critères de choix :	96
6-2-situation de l'aire d'intervention :	96
6-3-Analyse de système viaire :	97
7-analyse énergétique :	100
7-1-Diagramme de Szokolay :	100
7-2- analyse énergétique de l'aire d'intervention :	101
7-3- Les gisements des énergies renouvelables présentes :	102
8-L'intervention urbaine :	103
8-1-Analyse AFOM :	103
8-1-1 Les atouts :	103
8-1-2 Les faiblesses :	104
8-1-3 Les opportunités :	104
8-1-4 Les menaces :	105
8-2- Plan d'action :	106
8-3 Conclusion :	107
Chapitre 04 : Simulation et interprétation des résultats	108
1-Généralité sur la simulation :	109
Introduction :	109
1-1 La simulation thermique en architecture :	109
1-2-L'objectif de la simulation :	109
1-3-Les logiciels de simulation :	109
1-4-Le choix du logiciel de simulation :	110
2-Les protocoles de la simulation :	111
2-1-La modélisation dans le logiciel design Builder :	111
2-1-1 Salle d'informatique :	112
2-1-2-Salle des serveurs :	113
2-2-Les scénarios de la simulation thermique :	115
2-2-1-L'état initial :	115
2-2-1-a-La Salle d'informatique :	116

Scenario 1 :	_____	116
Scenario 2 :	_____	117
Scenario 3	_____	117
Scenario 4 :	_____	117
2-2-1-b La salle des serveurs :	_____	117
Scenario 1 :	_____	117
2-2-2-La quantification de la température :	_____	119
2-2-3-La quantification de l'énergie :	_____	119
3-Les Résultats et les interprétations :	_____	119
3-1-Le bilan thermique :	_____	119
3-1-1-a-La salle d'informatique :	_____	119
3-1-1-a-a-L'état actuelle :	_____	119
3-1-1-a-b-Après les modifications dans le plancher et la toiture :	_____	120
3-1-1-a-c-Après les modifications dans les murs extérieurs	_____	121
3-1-1-a-d- <b>Après l'intégration des brises soleil</b> :	_____	121
3-1-1-a-e-Après l'intégration du système HVAC	_____	122
3-1-1-b-La salle des serveurs :	_____	123
3-1-1-b-a-L'état initiale :	_____	123
3-1-1-b-b-Après les modifications dans le plancher et la toiture :	_____	123
3-1-1-b-c-La température après l'intégration de la fenêtre (simple vitrage) :	_____	124
3-1-1-b-d-Après l'intégration de la fenêtre (double vitrage) :	_____	125
3-1-1-b-e-Après l'intégration du système HVAC :	_____	125
4-Bilan énergétique :	_____	127
3-3-L'intégration des panneaux photovoltaïque et les éoliennes :	_____	127
Conclusion :	_____	128
Conclusion générale :	_____	130
Références bibliographiques :	_____	131
Table des figures :	_____	138
Table des tableaux :	_____	143
Table des cartes :	_____	144
Table des schémas :	_____	145
Liste des abréviations :	_____	146
Annexe 01	_____	147
Annexe 02	_____	149
Annexe 03	_____	150

# **Chapitre 01 : Chapitre introductif**

## Chapitre introductif :

### 1-Introduction générale :

Dans un monde de plus en plus conscient de l'impact environnemental de ses activités, l'architecture occupe une position centrale dans la quête d'un développement durable. L'option architecture, environnement et technologie vise à répondre aux défis contemporains en intégrant des pratiques respectueuses de l'environnement tout en assurant un niveau de confort élevé répondant aux nouveaux standards. Le secteur de la construction est responsable d'une part significative des émissions de gaz à effet de serre, de la consommation d'énergie et de l'exploitation des ressources naturelles. Il est donc impératif d'adopter des approches innovantes et durables dans la conception et la construction des bâtiments.

L'atelier E-Cow Built est une initiative pédagogique intégrée dans le cadre du Master 2 visant à fournir aux étudiants des compétences pratiques et théoriques dans le domaine de l'architecture durable, de la construction écologique et des technologies de pointe. Cet atelier est conçu pour combiner les aspects théoriques avec des expériences pratiques, tout en mettant un accent particulier sur l'innovation et la durabilité.

Cet atelier se concentre sur deux aspects ayant pour objectif l'optimisation de l'efficacité énergétique, et ne se limitant pas seulement à la construction de nouveaux bâtiments. La réhabilitation énergétique des bâtiments existants est tout aussi cruciale, car elle implique la rénovation des structures pour améliorer leur performance thermique et énergétique. Cela peut comprendre l'isolation des murs, des toits et des planchers, le remplacement des fenêtres par des modèles à haute performance énergétique, et l'installation de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation plus efficaces. C'est pour cette raison que certaines thématiques traitent de la modernisation des bâtiments anciens, permettant non seulement de prolonger leur durée de vie, mais aussi d'améliorer le confort des occupants et de réduire les coûts énergétiques.

Les thématiques traitées par les différents étudiants se focalisent sur le confort des occupants, qui est un aspect indissociable de cette démarche, d'autres se concentrent sur les certifications LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ou BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), mettant l'accent sur la qualité de vie à l'intérieur des bâtiments. Cela inclut le contrôle de la température, de la qualité de l'air, de l'acoustique et de l'éclairage naturel. Des technologies avancées permettent de réguler ces paramètres de manière intelligente, créant ainsi des environnements de vie et de travail agréables tout en réduisant la consommation énergétique.

Les différents objectifs de cet atelier visent l'intégration dès la conception les principes de durabilité et de haute performance énergétique, et ainsi choisir dès le départ des matériaux à faible impact environnemental, concevoir des structures optimisées pour l'efficacité énergétique et intégrer des systèmes de gestion de l'énergie. Sensibiliser les étudiants sur les stratégies passives tels que l'orientation des bâtiments, leur forme et l'utilisation de technologies comme les panneaux solaires ou les pompes à chaleur jouant un rôle crucial dans la réduction de l'empreinte écologique. De plus, la construction modulaire et les techniques de préfabrication peuvent réduire les déchets de construction et améliorer l'efficacité du processus.

L'atelier se concentre également sur l'utilisation des outils numériques, tels que la modélisation des informations du bâtiment (BIM) et la simulation des performances énergétiques des bâtiments, afin d'optimiser leur conception pour maximiser l'efficacité énergétique et évaluer l'impact environnemental à travers ces différents outils.

Cette démarche permet d'anticiper et de réduire les impacts environnementaux dès les phases de conception et de construction, car ces technologies offrent une vision globale du projet et facilitent la prise de décisions éclairées en matière de durabilité.

L'option architecture, environnement et technologie ne se limite pas à l'adoption de nouvelles techniques de construction ou à la réhabilitation énergétique. Elle inclut également une réflexion plus large sur l'urbanisme et la planification territoriale. Les écoquartiers et les villes intelligentes émergent comme des réponses intégrées aux défis du développement durable, s'évertuant à optimiser l'utilisation des ressources, à réduire les déplacements en voiture grâce à une mixité fonctionnelle et à favoriser les modes de transport doux.

En conclusion, l'intégration de l'architecture, de l'environnement et de la technologie représente une réponse nécessaire et ambitieuse aux défis du changement climatique et de la transition énergétique. Elle exige une approche holistique, combinant la construction neuve et la réhabilitation des bâtiments existants, pour créer des environnements bâtis qui sont à la fois durables, confortables et résilients.

Dr.BENCHEKROUN Marwa

## 2-Thématique générale :

L'énergie est un élément essentiel dans notre vie quotidienne, elle a été une raison majeure de l'évolution humaine, en développant des machines et des appareils qui améliorent le niveau de vie et le bien-être tout en facilitant les diverses tâches quotidiennes telles que le transport, et l'économie des pays en créant de nouvelles opportunités d'emploi, cela a eu un impact significatif sur la façon dont nous vivons, travaillons et interagissons avec l'environnement.

De plus, l'énergie a joué un rôle important dans le développement des civilisations et, depuis l'Antiquité, elle a été une source de guerres entre les peuples qui tentaient de s'emparer de ces ressources énergétiques. Aujourd'hui encore, cette question reste la principale préoccupation des pays les plus puissants du monde, parce qu'elle est considérée comme acteur principal du développement de plusieurs secteurs importants comme le secteur d'habitat, d'industrie, et de transport ...etc L'Arbaoui, A. (2022).

Au cours du 20<sup>e</sup> siècle, les énergies fossiles tels que le pétrole, le gaz naturel, le charbon sont principalement les sources d'énergie mondiale. Cela a également contribué au développement de l'économie mondiale et à l'expansion des villes. En contrepartie il ya une émergence de nombreux problèmes environnementaux et climatiques qui menacent le monde dans lequel nous vivons.

Parmi ces problèmes, le changement climatique qui est dû aux émissions de gaz à effet de serre (GES) qui par conséquent, entraîne une augmentation de la température de la planète, et qui entraîne de nombreux risques parmi eux : la fonte des glaciers, la montée du niveau de la mer ; pollution de l'air et ses effets néfastes sur la santé humaine ; épuisement des ressources...etc. (youmatter, 2023)

Suite à l'Accord de Paris de 2015<sup>1</sup>, le monde s'est orienté de plus en plus vers une énergie propre connue par "Les énergies renouvelables" offrant une alternative durable et respectueuse de l'environnement pour leurs besoins énergétiques dans le secteur du bâtiment, de l'industrie, des transports et de l'agriculture.

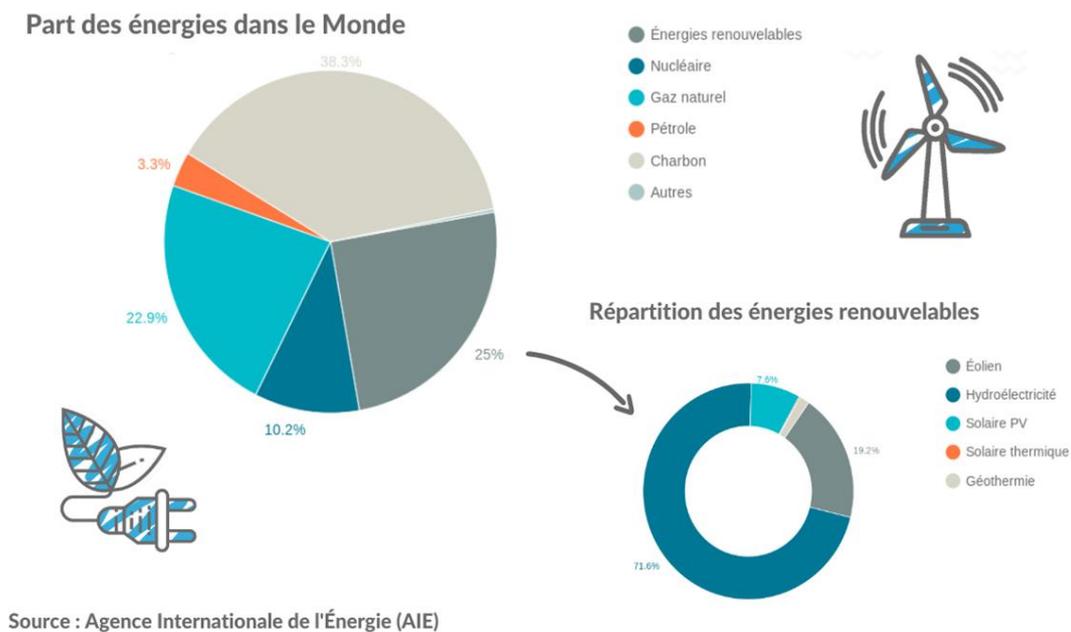
Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2019) (figures 1et 2), en 2017 les énergies renouvelables représentaient 25% de la production d'électricité avec la domination de l'énergie

---

<sup>1</sup> L'Accord de Paris est un traité international juridiquement contraignant sur les changements climatiques. Son objectif primordial est de maintenir « l'augmentation de la température moyenne mondiale bien en dessous de 2°C au-dessus des niveaux préindustriels »

fossile de plus de 38% de charbon, 22% de gaz naturel, 10% d'énergie nucléaire et 3% de pétrole.

Dans le cas des énergies renouvelables, l'énergie hydraulique est la plus courante avec plus de 71%, l'énergie éolienne avec 19%, l'énergie solaire avec plus de 7,5%, et enfin la géothermie avec un pourcentage négligeable.<sup>2</sup>



Source : Agence Internationale de l'Énergie (AIE)

**Figure 1: Répartition des énergies renouvelables dans le monde**

(Source : Agence Internationale de l'Énergie AIE 2019)

<sup>2</sup> L'Agence internationale de l'énergie (AIE) est une organisation internationale fondée en 1974, basée à Paris. C'est une agence autonome de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), elle compte 31 États membres en 2022. Elle a été créée le 15 novembre 1974 à la suite du premier choc pétrolier. Elle a pour mission de promouvoir des politiques énergétiques durables en fournissant des analyses objectives et des données sur les marchés de l'énergie, les technologies de l'énergie et les questions environnementales liées à l'énergie.

Source renouvelable primaire	2015	2016	2017	2018	2019
Hydro-électricité	1099	1129	1156	1177	1189
Eolien (On et Offshore)	416	467	514	564	623
Solaire (CSP + PV)	222	296	389	489	586
Biomasse	97	105	111	117	124
Géothermie	12	12	13	14	15
<b>Total</b>	<b>1846</b>	<b>2009</b>	<b>2183</b>	<b>2361</b>	<b>2537</b>

**Figure 2: Capacités de production d'électricité (en GW) dans le monde à base de ressources renouvelables sur les années 2015 à 2019**

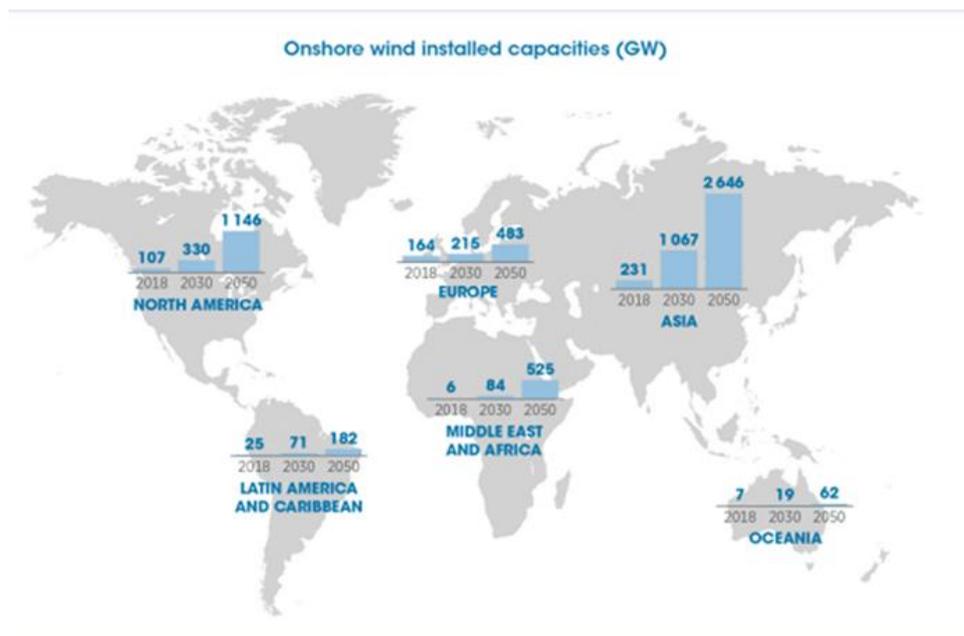
(Source : Agence Internationale de l'Energie AIE 2019)



**Figure 3: les capacités cumulées d'hydro-électricité installées dans le monde en 2015**

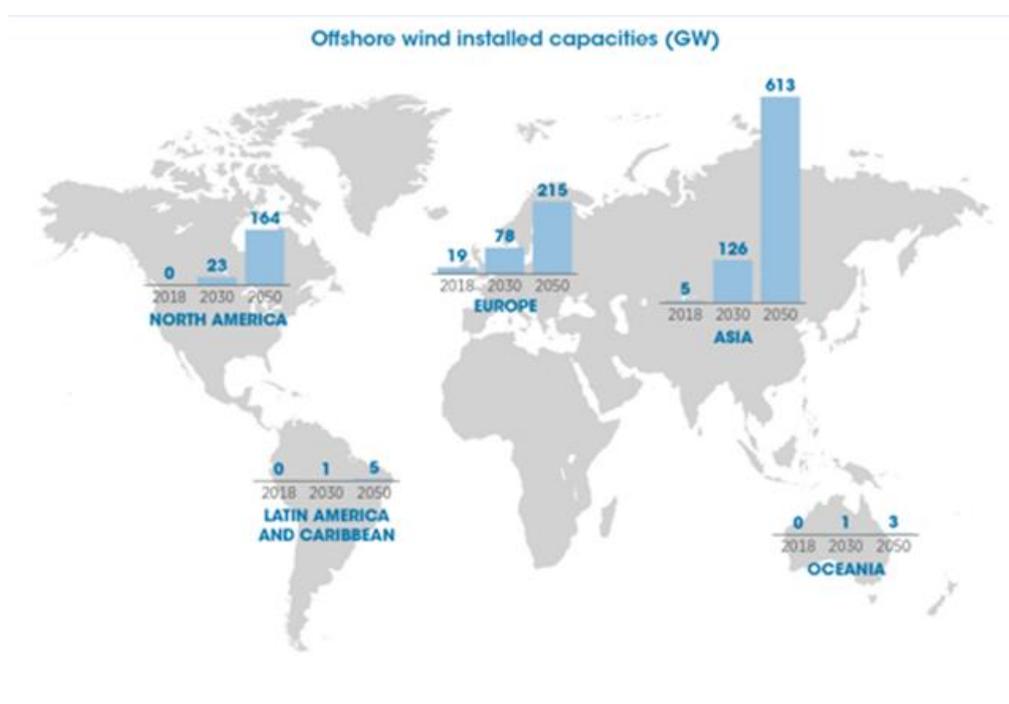
(Source : Billon, 2016)

La figure 3 met en évidence que l'énergie hydraulique constitue une part importante par sa contribution à la production d'énergie électrique, mais son utilisation reste limitée en Europe et en Amérique du nord. Par contre en Asie et notamment en Chine l'hydroélectricité connaît un grand progrès actuellement. L'hydroélectricité est malheureusement encore sous-développée en Afrique avec une capacité cumulée d'environ 37 GW en 2019, ce qui ne représente que 11 % de son potentiel hydraulique exploitable. (Noureddine YASSAA, Messaoud KHELIF, 2020)



**Figure 4 : Projection à l’horizon 2050 de l’évolution des capacités cumulées d’éolien terrestre (Onshore) installées par région dans le monde**

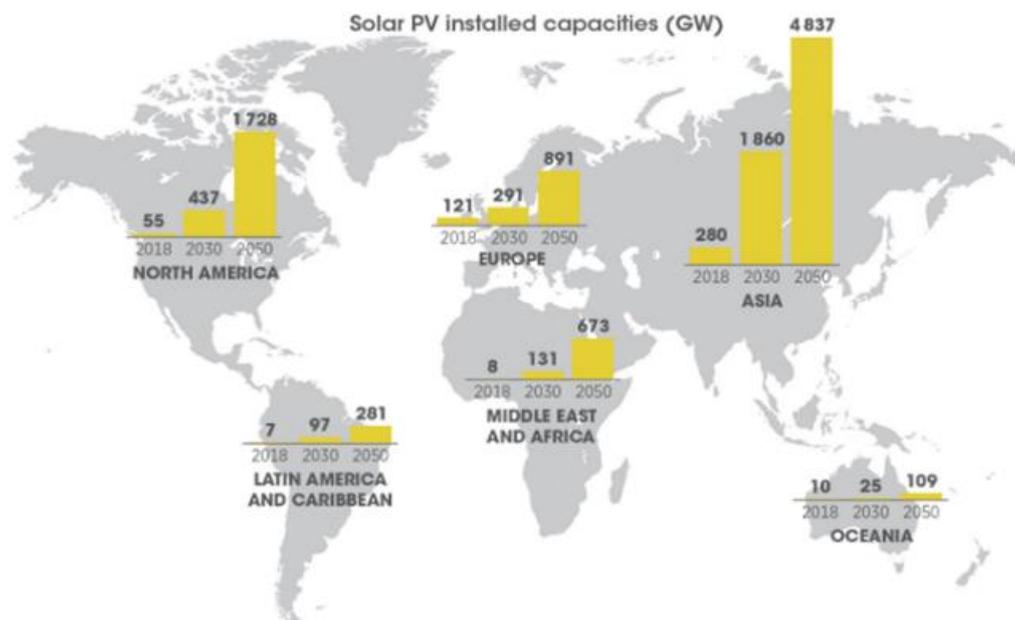
(Source : IRENA 2019)



**Figure 5 : Projection à l’horizon 2050 de l’évolution des capacités cumulées d’éolien en mer (Offshore) installées par région dans le monde**

(Source : IRENA 2019).

La figure 04 et la figure 05 démontrent que l'énergie éolienne est considérée comme la première ressource énergétique renouvelable développée pour produire de l'électricité dans les pays industrialisés (États-Unis, Canada, Europe...) après la crise pétrolière de 1973. Aujourd'hui l'énergie éolienne terrestre est la plus dominante, tandis que l'énergie éolienne offshore (en mer) est en cours de développement parce que la vitesse moyenne du vent dans la mer est plus élevée que sur terre, plus régulière et capable de garantir une charge de facteur nettement plus attractive. Dans le domaine d'éolienne terrestre l'Asie du Sud-Est apporte une grande contribution à la capacité mondiale suivie par l'Amérique du Nord et l'Europe tandis que la contribution reste faible en Afrique. Quant à l'éolien offshore (en mer), l'Asie reste toujours dominante, suivie de l'Europe et de l'Amérique du Nord tandis que l'Afrique n'a aucune contribution. (Ecofin)



**Figure 6 : Projection à l'horizon 2050 des capacités cumulées de solaire photovoltaïque installées par région dans le monde**

(Source : IRENA2019).

Quant à la figure 06, elle montre que l'énergie solaire est considérée comme le troisième type d'énergie renouvelable le plus répandu dans le monde, même si le gisement solaire est inégalement présent dans toutes les régions du monde. La capacité de production de l'énergie solaire photovoltaïque dans le monde a augmenté 20% en 2019 avec 98 GW supplémentaires par rapport en 2018 (489 GW), avec une contribution majeure de l'Asie, suivie de l'Amérique du nord, l'Europe, l'Afrique et enfin l'Amérique latine (281 GW).

Parmi les pays leaders et les plus développés dans le domaine de la production et l'utilisation des énergies renouvelables, on trouve, dans l'ordre :

- En Europe : nous trouvons : l'Islande (avec 100 % de contribution à la production énergétique du pays) ; la Norvège (95 % en 2020) ; La Suède : (62,6 % en 2021). (Amandine, 2023)
- En Asie : nous trouvons : la Chine (avec 27,9 % en 2019) (Amandine, 2023) ; l'Inde (40 % prévus en 2030) (Amandine, 2023)
- En Amérique : le Costa Rica (100 % en 2019) (Amandine, 2023); le Nicaragua (58%) (World Bank Group, 2013)
- En Afrique : le Maroc (52 % prévus en 2030) (Amandine, 2023) (Amandine, 2023) ; L'Ethiopie. (Amandine, 2023)

De là, nous constatons que, quelles que soient les différences entre les types d'énergies renouvelables, les pays européens, asiatiques et américains restent toujours dominants dans le domaine de l'utilisation des énergies renouvelables, tandis que l'Afrique arrive toujours en bas du classement.

### **3-Problématique générale :**

En Algérie, les hydrocarbures sont considérés comme les premières sources de l'économie nationale, puisqu'en 2008 ils constituaient 50 % du PIB<sup>3</sup>, 75 % des revenus fiscaux et plus de 98 % des exportations. Aussi ils sont également considérés comme une source primaire de production d'énergie, selon les bilans énergétiques de l'Algérie pour les années 2015 à 2019 les combustibles fossiles (pétrole et gaz) constituent 99 % de la demande énergétique nationale, alors que seulement 1 % de l'énergie est produite de l'énergie hydroélectrique.

Aujourd'hui encore, l'Algérie reste fortement dépendante du secteur des hydrocarbures et des énergies fossiles et se situe en bas du classement mondial dans le domaine des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

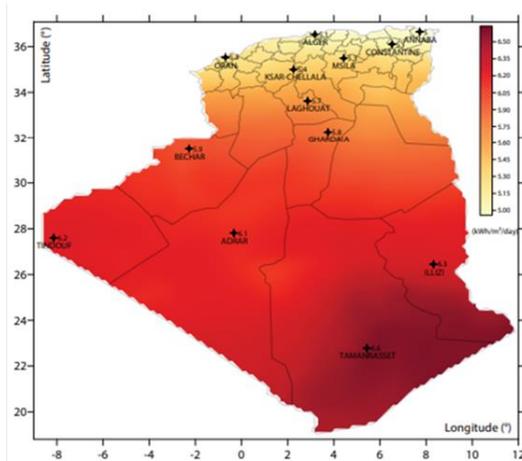
L'exportation continue de ces énergies par l'Algérie, avec la croissance démographique et le besoin croissant d'énergie, provoque une pénurie continue de ces sources non renouvelables, ce qui a poussé le gouvernement algérien à rechercher une autre alternative à cette énergie, à savoir les énergies renouvelables sur lesquelles l'Algérie peut s'appuyer. (Cherfi, 2011)

---

<sup>3</sup> **Le Produit Intérieur Brut (PIB) :** C'est un indicateur économique évaluant la valeur totale annuelle de production de richesse d'un pays.

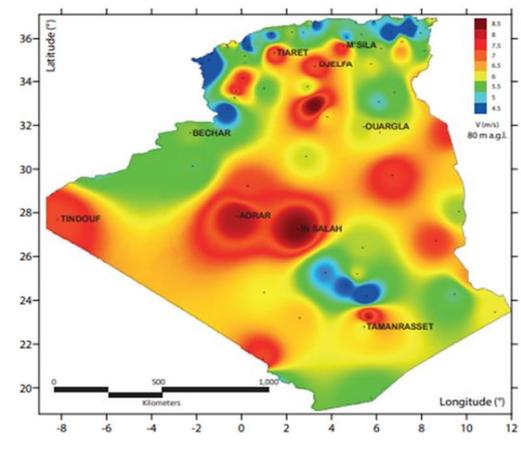
Selon la publication de Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER)<sup>4</sup> en 2019, l'Algérie a une richesse en matière de gisements énergétiques solaire, éolien, géothermique et bioénergie. Cela est dû à sa situation géographique particulière. Le Gisement solaire en Algérie est l'un des gisements solaires les plus élevés dans le monde, la durée d'ensoleillement sur l'ensemble du territoire national dépasse environ 2000 heures Annuellement et peut atteindre 3900 heures plus particulièrement dans les hauts plateaux et au sud du pays (figure7), l'énergie solaire globale reçue quotidiennement sur une surface horizontale d'un mètre carré est de 5,1 kWh Nord et 6,6 kWh dans le Grand Sud. (Prof. Nouredine YASSAA-, Messaoud KHELIF 2020)

Le deuxième gisement le plus élevée après le solaire c'est le gisement éolien, le CDER a développé plusieurs cartes éoliennes de l'Algérie, la figure 8 présente la distribution de la vitesse moyenne (m/s) du vent sur le territoire algérien à 80 m de hauteur, dans certaines régions du Sud, comme Tindouf, Adrar et Ain Salah la vitesse moyenne peut atteindre 7 à 8 m/s.



**Figure 7 : Gisement solaire de l'Algérie**

(Source : CDER 2019)



**Figure 8 : Gisement éolien de l'Algérie**

( Source : CDER 2019)

En ce qui concerne la géothermie, plus de 200 sources d'eau chaude ont été répertoriées dans le nord-est et le nord-ouest de l'Algérie, et environ 33% d'entre elles ont des températures supérieures à 45° C. (Larbaoui Adel, 2022)

<sup>4</sup> Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER), créé le 22 mars 1988, c'est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) chargé d'élaborer et de mettre en œuvre les programmes de recherche et de développement, scientifiques et technologiques, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et l'énergie de la biomasse.

En reposant sur cette richesse renouvelable, l'Algérie a décidé de contribuer à la maîtrise de l'environnement par les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique en créant deux programmes :

1-Le premier : le programme national présenté par le gouvernement (PNEREE)<sup>5</sup> le 3 février 2011 et révisé en 2015 par le Ministère de l'Énergie et des Mines (MEM), son objectif était d'atteindre 40% de la capacité de produire l'électricité à partir de sources renouvelables à l'horizon 2030, et d'assurer une capacité de production d'électricité renouvelable de 22000MW, dont 10000MW seraient dédiés à l'exportation. ( Larbaoui Adel , 2022 )

2-Le deuxième : le programme national de Transition Énergétique 2020-2035 (Larbaoui Adel, 2022) : programme vise à améliorer l'efficacité énergétique du pays et de le libérer progressivement de sa dépendance à l'égard des ressources traditionnelles avec l'utilisation d'énergies vertes et durables au niveau local, il repose sur les considérations qui sont :

- La préservation des ressources fossiles et leur valorisation ;
- Le changement du modèle énergétique de production et de consommation ;
- Le développement durable et la protection de l'environnement ;
- La maîtrise des coûts de réalisation des installations des EnR.

---

<sup>5</sup> PNEREE est le premier programme dédié au développement et la promotion des énergies renouvelables et l'efficacité Énergétique en Algérie

Le programme est organisé par plusieurs organismes publics concernés par mise en œuvre ce programme tels que le CDER<sup>6</sup>, APRUE<sup>7</sup>, CREG<sup>8</sup>, CRTSE<sup>9</sup>, CREDEG<sup>10</sup>...etc.

En plus de ces programmes et institutions, le gouvernement Algérien a créé un cadre juridique des EnR qui contient plusieurs lois pour assurer sa politique énergétique telles que : (HAMITI Dalila, 2022) :

- ✓ La loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie.
- ✓ La loi n° 02-01 du 5 février 2002, modifiée et complétée.
- ✓ La loi n° 04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

Ces réflexions nous ont mené à nous poser la question cruciale de notre travail de recherche :

**« Comment adapter les politiques énergétiques existantes en Algérie pour favoriser une transition vers des sources d'énergies renouvelables et améliorer l'efficacité énergétique de nos bâtiments ? »**

---

<sup>6</sup> Centre de Développement des Energies Renouvelables

<sup>7</sup> APRUE est un établissement public à caractère industriel et commercial créée par décret présidentiel en 1985, placée sous la tutelle du Ministère de la Transition Énergétique et des Énergies Renouvelables (MTEER). Elle a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale de maîtrise de l'énergie, et ce à travers la promotion de l'efficacité énergétique.

<sup>8</sup> CREG C'est un organisme indépendant et autonome, chargé de trois missions principales : réalisation et contrôle du service public, conseil auprès des pouvoirs publics en ce qui concerne l'organisation et le fonctionnement du marché intérieur de l'électricité et celui du gaz, surveillance et contrôle du respect des lois et règlements relatifs au marché intérieur de l'électricité et du gaz.

<sup>9</sup> CRTSE est une entité de recherche et développement sous tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Créé par Décret exécutif N°12-316 du 21 Août 2012, dans le prolongement de l'Unité de Développement de la Technologie du Silicium, du Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA).

<sup>10</sup> CREDEG érigé le 1er janvier 2005 en société par actions (SPA), filiale du groupe Sonelgaz, il a pour principale vocation la recherche appliquée, le développement technologique, l'expertise des équipements industriels en phase d'exploitation et de fabrication dans le domaine des métiers de base des sociétés du Groupe Sonelgaz

#### 4-Problématique spécifique :

Dans le cadre des projets menés par le gouvernement Algérien pour développer l'utilisation des énergies renouvelables, Alger fait partie des villes qui devraient recevoir dans le futur plusieurs projets spécifiquement destinés à l'utilisation des énergies renouvelables. (Pos d'Alger)

La ville de Sidi Abdallah est un exemple des villes dans laquelle ces projets seront mis en œuvre, car la ville est connue par son caractère environnemental et climatique caractérisé par une fréquence et une qualité d'ensoleillement élevée, une importance des vents liée à la proximité du littoral, elle est également située au milieu d'une richesse hydraulique représentée par la mer Méditerranée et le barrage de Douira (figure 08), ce qui favorise le développement d'un programme spécial pour les énergies renouvelables.



**-Carte 01 : les diverses énergies renouvelables présentés  
dans la ville nouvelle de Sidi Abdallah**

(Source : auteur, support : google earth 2023)

Selon le dernier plan d'aménagement de la ville de 2016, 6 hectares ont été alloués pour établir un pôle d'énergies renouvelables spécialisé dans l'énergie solaire et l'énergie éolienne dans le périmètre de protection de la ville, et lors de notre investigation sur le terrain dans la nouvelle ville de Sidi Abdallah, nous avons pu constater que les secteurs de l'éclairage public et du lo-

gement social fonctionnent avec des cellules solaires photovoltaïques ce qui confirme les mesures prises pour développer les énergies renouvelables dans la ville, même si elles sont peu nombreuses et n'ont pas été bien mises en œuvre . (Mission B)

Dans cette démarche et cette réflexion contextuelle émise, les questions de recherches sont comme suit :

**Quels sont les stratégies passives les plus optimales et quels sont les types d'énergies renouvelable les plus appropriés susceptibles de rendre nos bâtiments efficaces en énergie tout en offrant une ambiance thermique satisfaisante aux usagers ?**

### **5-hypothèses de la recherche :**

Afin de répondre aux questions de recherche, nous émettons les hypothèses de recherche

- L'isolation de l'enveloppe du bâtiment combinée à des protections solaires améliore le confort thermique de manière très significative
- Le free cooling améliore le bilan thermique du bâtiment tout en réduisant ses consommations énergétiques
- La combinaison des stratégies passives à l'énergie solaire et éolienne réduit jusqu'à 50% des consommations énergétiques du bâtiment

### **6-Objectifs de la recherche :**

-Les objectifs de notre travail sont comme suit :

- Réduire l'impact des énergies fossiles sur l'environnement par une combinaison des stratégies passives et des énergies renouvelables
- Améliorer efficacité énergétique du bâtiment en s'appuyant sur le recours à une combinaison d'énergie solaire et éolienne.
- Réaliser un projet durable et éco-responsable pour un cadre bâti efficace.
- Participation à l'augmentation de l'efficacité énergétique de la ville de Sidi Abdallah et à la réalisation d'une éco-architecture.

**7-Méthodologie de travail :** le travail s'articule sur 2 étapes, un est théorique, et l'autre pratique, pour chaque étape, plusieurs outils ont été utilisés pour atteindre un objectif spécifique :

1) L'étape théorique : s'appuie sur l'outil suivant :

- ✓ La recherche bibliographique : consiste à collecter les informations concernant notre sujet de recherche « *Bâtir le futur : Stratégies hybrides pour des bâtiments confortables et une architecture efficiente : De l'adoption de solutions passives à l'intégration des énergies renouvelables* » et les concepts clés qui ont un rapport avec ce sujet (l'architecture durable, les énergies renouvelables et leur intégration dans le domaine d'architecture , l'efficacité énergétique...), à partir des données primaires et secondaires existants provenant des sources documentaires tels que (les livres, thèses de doctorats, mémoires de magister, des revues, des rapports, sites web...etc.) afin de mieux comprendre et approfondir le sujet d'étude.

2) L'étape pratique : s'appuie sur les outils suivants :

- ✓ La visite sur terrain : consiste à collecter des données sur le terrain et l'aire d'intervention (cyber Park de la Ville Nouvelle de Sidi Abdallah), à travers la visite des organismes administratifs, et les observations, afin de connaître les conditions, les informations et les perceptions disponibles sur le site étudié.
- ✓ Les enquêtes : des enquêtes à usage exploratoire pour comprendre les besoins spécifiques des habitants de la ville surtout en termes d'infrastructures et de services.
- ✓ Les interviews : des entretiens libres et semi dirigé avec des personnels spécialisées dans le réaménagement de la ville nouvelle de Sidi Abdallah, pour des connaissances approfondies de la ville, et pour identifier les problèmes urbains auxquels ils ont été confrontés, et ses orientations futures pour déterminer avec précision le projet qui lui convient.
- ✓ L'analyse de données : consiste à analyser les données collectées à travers les recherches documentaires, les résultats quantitatifs obtenus par les entretiens et les questionnaires, l'analyse des exemples pour répondre aux questions de recherche posées et faciliter la compréhension et l'interprétation des résultats.
- ✓ La conception : c'est le processus de la conception du projet dans lequel les résultats de la recherche seront appliqués à l'aide des logiciels de dessin.
- ✓ La simulation : La simulation est un outil essentiel pour prendre des décisions à partir des données existantes, car elle permet de simuler le comportement du bâtiment en termes de demande énergétique, de confort thermique et de qualité de l'air intérieur. Elle

permet de trouver des solutions de conception optimales avant la construction, comme l'orientation, la forme du bâtiment, le choix des matériaux et des technologies de construction (les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation (HVAC), les panneaux solaires)

Le schéma qui exprime la méthodologie de recherche :

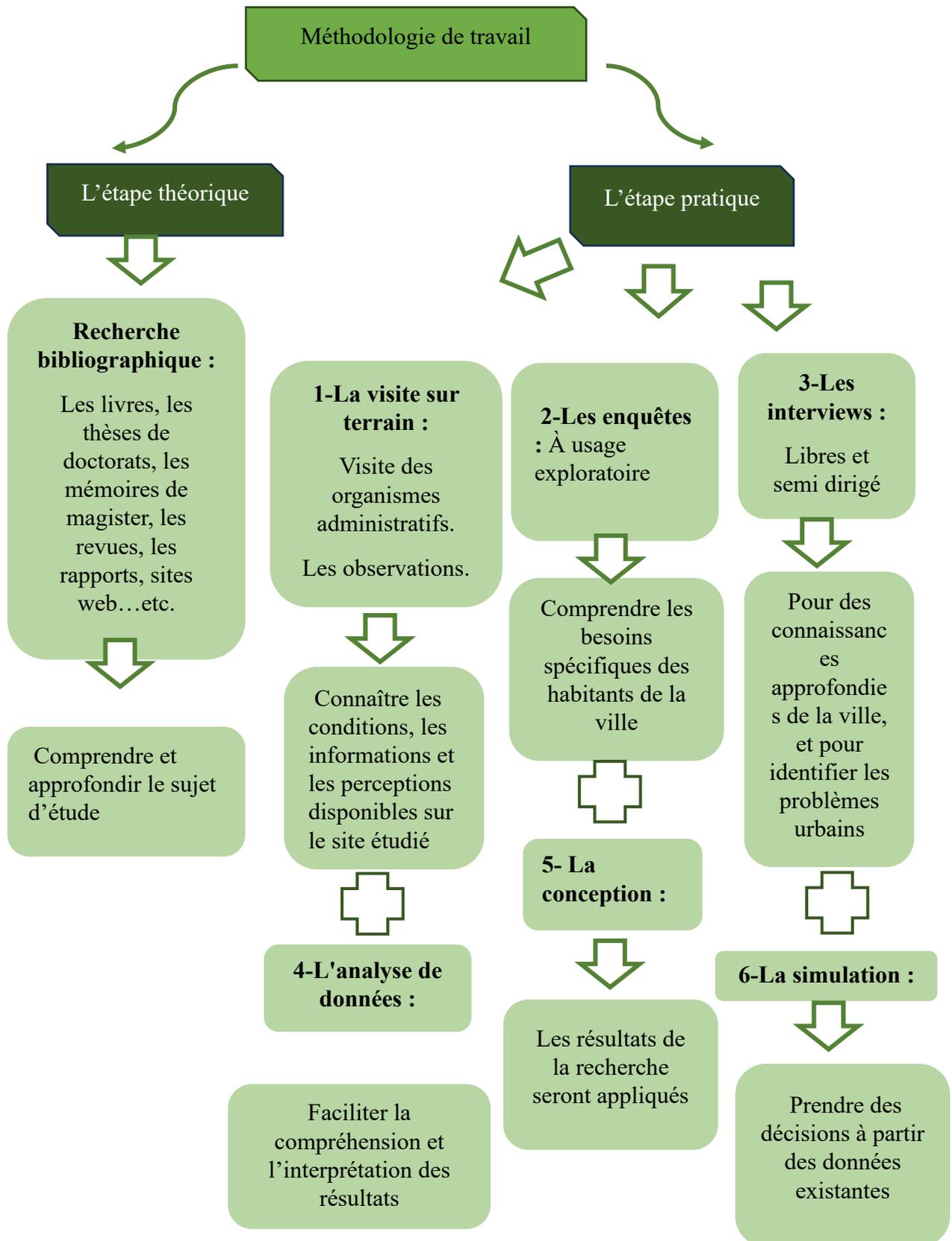
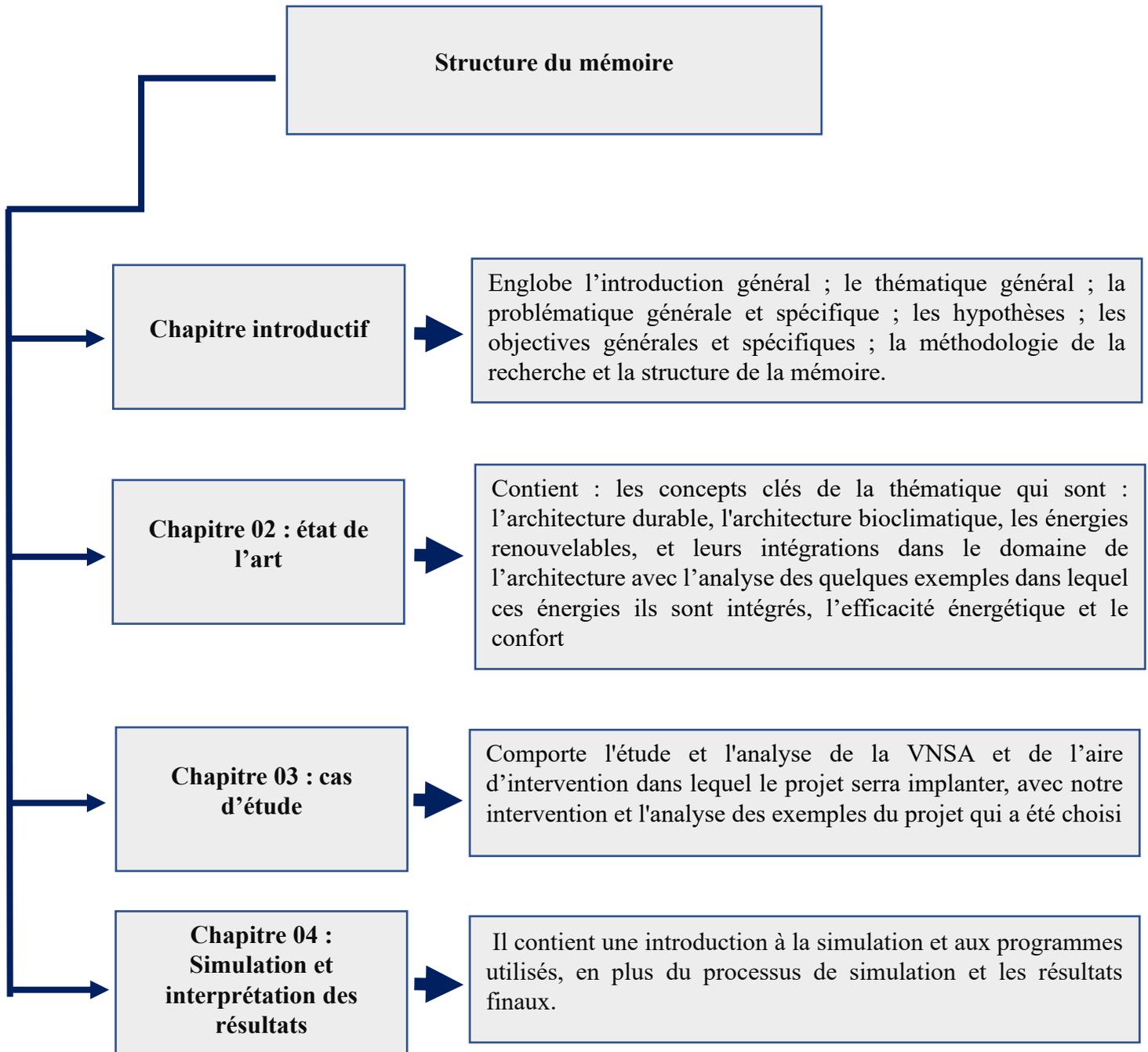


Schéma 01 : méthodologie de travail (Source : auteure)

**8-Structure du mémoire :**



**Schéma 02 : la structuration de la mémoire**

Source : auteure

# **CHAPITRE 02 : État de l'art**

## -Introduction :

Dans ce chapitre, nous aborderons les trois principaux liés à notre thématique de recherche «*Bâtir le futur : Stratégies hybrides pour des bâtiments confortables et une architecture efficiente : De l'adoption de solutions passives à l'intégration des énergies renouvelables* » que sont l'architecture, l'environnement et la technologie et qui jouent un rôle essentiel dans le développement et l'évolution des sociétés, des bâtiments, des infrastructures et des écosystèmes, nous aborderons également le rôle des énergies renouvelables dans la préservation de l'environnement et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Le but de ce chapitre est de comprendre notre thématique à travers la littérature scientifique.

## 1- L'architecture et le développement durable :

### 1-1-Definition du développement durable :

Après la forte croissance démographique mondiale et le besoin accru d'utilisation d'énergie et des ressources naturelles, qui affectent grandement l'environnement et augmentent les risques de réchauffement climatique et la nécessité de protéger l'environnement, un nouveau concept appelé « *le développement durable* » est apparu sur la scène mondiale, et ce grâce à un rapport intitulé Brundtland apparu en 1987 et définit le développement durable comme « *un développement qui répond aux besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs* ». (Contributeurs aux projets Wikimedia, 2024)

Dans l'ouvrage de « *BESANCENOT* » (BESANCENOT François, 2008) nous trouvons une autre définition détaillée sur ce concept qui le divise en 4 sphères : une première économique, une deuxième sociale et la troisième est environnementale, et la quatrième culturelle.

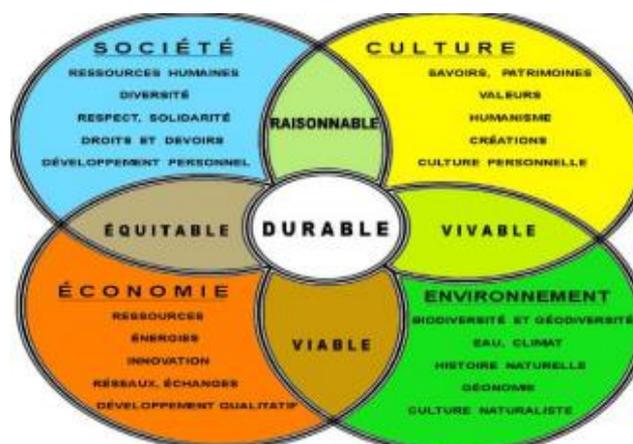


Figure 9 : Schéma des 4 piliers du développement durable

Source : (Larrère ,2006)

## 1-2-Les 3 piliers et les principes du développement durable :

### 1-2-1-Les 3 piliers du développement durable :

✚ Efficacité économique : C'est l'utilisation optimale des ressources disponibles tout en assurant une gestion saine et durable, sans nuire à l'environnement et à la société.

✚ Equité sociale : Il s'agit de répondre aux besoins fondamentaux des populations (logement, alimentation, santé, éducation), tout en réduisant les inégalités entre les individus et respectant leurs cultures, à travers les tâches suivantes :

- Assurer la qualité d'air intérieur et celle de l'eau.
- Assurer le confort thermique, visuel, olfactif et acoustique.
- Optimiser l'accessibilité et l'adaptabilité des logements.
- Augmenter la sécurité et prévenir les risques.
- Réduire les nuisances sur le voisinage.
- Assurer la traçabilité des matériaux.
- Impliquer les utilisateurs dans les processus de décision...

✚ Qualité environnementale : Cela se fait en préservant les ressources naturelles à long terme et en réduisant les impacts environnementaux, grâce aux procédures suivantes :

- Limiter les impacts sur l'ensemble du cycle de vie.
- Economiser les ressources dont l'énergie.
- Réduire les émissions de gaz à effet de serre.
- Générer moins de déchets.
- Limiter les pollutions de l'eau, de l'air et des sols.
- Maintenir la biodiversité.
- Limiter les nuisances... (DAKHIA Azzedine.2019)

*1-2-2-Les quatre principes fondamentaux de développement durables :*

- ✚ La solidarité : entre les peuples de différents pays, sociétés et générations à travers le partage des ressources de la Terre et leur préservation afin que les générations futures et le plus grand nombre possible de personnes puissent en bénéficier.
- ✚ La précaution : dans les décisions qui sont prises afin de ne pas provoquer de catastrophes et de risques sanitaires ou environnementaux. Par exemple : réduire les émissions de dioxyde de carbone pour ralentir le changement climatique.
- ✚ La participation : de chacun à la réussite des projets durables, quel que soit son métier ou son statut social. Par exemple : créer des conseils d'enfants et de jeunes.
- ✚ La responsabilité : chacun doit être responsable de ses actes, qu'il soit citoyen, agriculteur ou industriel, et chacun doit réparer ses actes s'il cause des dommages ou une pollution à l'environnement. Par exemple : faire payer une taxe aux industries qui polluent beaucoup selon la formule : pollueurs = payeurs). (DAKHIA Azzedine. 2019)

**1-3- Les acteurs du développement durable :**

Chacun doit participer à intervenir pour changer les choses et faire évoluer la situation afin d'assurer un développement durable, en commençant par les individus dans la société et en terminant par l'État et les organisations internationales.

- a. Les enfants et les parents.
- b. Les écoles, collèges et lycées.
- c. Les villes et communautés.
- d. Les régions.
- e. L'état.
- f. Les associations à caractère écologique.
- g. Les clubs sportifs et de loisirs.
- h. Les entreprises, industriels et les agriculteurs. (DAKHIA Azzedine. 2019)

#### 1-4- L'architecture durable :

C'est un système de conception et de réalisation ayant pour préoccupation de concevoir une architecture respectueuse de l'environnement et de l'écologie. (Contributeurs aux projets Wikimedia, 2023)

C'est une approche écologique de la construction moderne englobe tous les aspects du processus de planification et de construction. Cela inclut le choix des matériaux de construction ; la conception et la mise en œuvre de systèmes de chauffage, de climatisation, de plomberie, d'évacuation des déchets et de ventilation ; et l'intégration de l'environnement bâti dans le paysage naturel. (Douce Cahute 2024,)

Luis Garrido<sup>11</sup> en 2010, a défini l'architecture durable comme "*celle qui répond aux besoins de ses occupants, à tout moment et partout, sans compromettre le bien-être et le développement des générations futures*" (admin, 2024)

Cette définition montre déjà certaines techniques et piliers de base de l'architecture durable :

- ✓ Etudier les conditions de l'environnement : il est important de prendre en compte l'environnement, la localisation, les conditions climatiques, la ventilation, les arbres ou les bâtiments environnants qui peuvent
- ✓ Prendre en compte sa conception et son orientation : pour minimiser la consommation d'énergie et profiter des conditions naturelles pendant la journée.
- ✓ Déterminez comment l'énergie sera utilisée et conservée : utiliser des techniques et des matériaux pour assurer une parfaite isolation et participer pour assurer l'efficacité énergétique
- ✓ Utilisez des matériaux naturels, recyclés ou recyclables : pour minimiser l'impact environnemental des bâtiments.
- ✓ Réduire, recycler et réutiliser les déchets : comme le carton et le métal pour protéger l'environnement et réduire leur impact environnemental. (Admin, 2024)

Une autre branche d'architecture, qui s'appelle l'architecture bioclimatique, elle est basée sur l'optimisation de la conception des bâtiments selon les conditions climatiques locales pour améliorer l'efficacité énergétique et le confort, réduire l'impact

---

<sup>11</sup> Luis de Garrido est un architecte espagnol d'origine catalane, né le 13 novembre 1960. C'est un pratiquant de l'architecture durable.

environnemental des bâtiments et à maximiser la durabilité économique et sociale, mais pas de manière générale comme l'architecture durable environnemental.

## **2- L'architecture Bioclimatique :**

### **2-1- définition de L'architecture Bioclimatique :**

Le style bioclimatique est un courant de l'architecture contemporaine qui utilise le climat et les caractéristiques naturelles du site pour concevoir des bâtiments confortables, écologiques et économiques (en matière de chauffage, d'éclairage et de climatisation), et considère l'environnement comme une source potentielle de confort. Son objectif est d'obtenir des conditions de vie agréables pour les occupants, de la manière la plus naturelle et la plus respectueuse possible. (Guillaume Fischer, 2020)

D'après le dictionnaire Larousse l'habitat bioclimatique « *Se dit d'un habitat dans lequel la climatisation est réalisée en tirant le meilleur parti du rayonnement solaire et de la circulation naturelle de l'air afin de réduire la consommation d'énergie* »

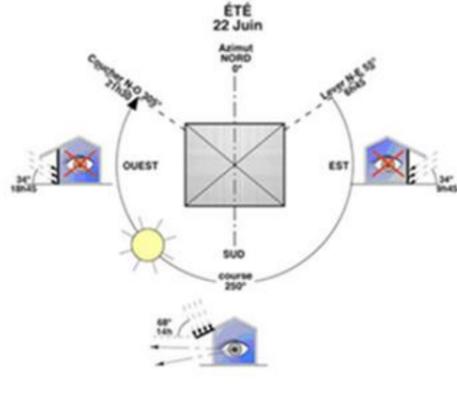
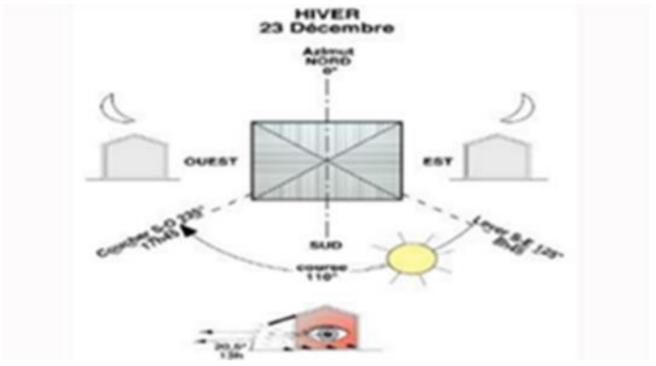
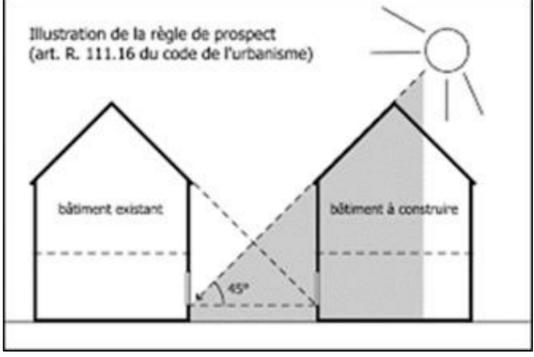
**2-2- Les paramètres de l'architecture bioclimatique :**

Il existe deux paramètres qui affectent la qualité d'une conception bioclimatique, sont les paramètres architecturaux et environnementaux :

*2-2-1- les paramètres environnementaux :*

**Tableau 1 : Les paramètres environnementaux de l'architecture bioclimatiques**

(Source : auteur)

Le paramètre	L'explication	L'illustration	
<p>1- Implantation et Orientation des Bâtiments</p>	<p>-Le bâtiment doit être implanté et orienté de manière à maximiser l'apport solaire en hiver et à minimiser l'exposition au soleil en été.</p> <p>-En hiver, la course du soleil est limitée et seules les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif par rapport aux besoins de chauffage.</p> <p>- L'été, la course du soleil est beaucoup plus longue et plus haute. Les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées de dispositifs de protection (Abderrahmane Boursas ,2012)</p>	 <p><b>Figure 10 :la cours du soleil en été</b></p> <p>Source:(ResearchGate , 2019)</p>	 <p><b>Figure 11 : la cours du soleil en hiver</b></p> <p>Source :(( ResearchGate, 2019)</p>
<p>2-Prospect/ distance entre bâtiments</p>	<p>La distance minimale imposée entre deux bâtiments doit être la même distance que leur hauteur moins de 3 mètres (<math>d=H- 3m</math>), avec au moins 8m de distance s'ils sont plus petits. (Kaoula dalel , 2016)</p>	 <p><b>Figure 12 : semât de la règle de prospect</b></p> <p>Source :((Campus Numérique UABT)</p>	

3- La végétation

Elle permet de créer un climat agréable autour de la construction, abaisse la température en absorbant le rayonnement solaire, protéger l'habitat des vents forts en été et froids en hiver... (Loris GAZUT, 2019)

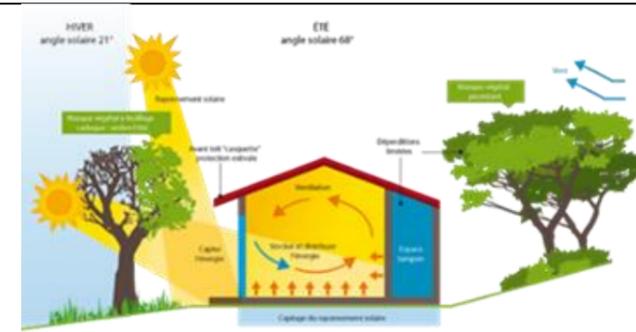


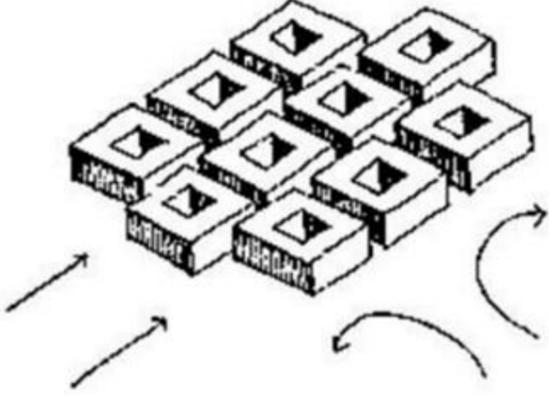
Figure 13 : le rôle de la végétation

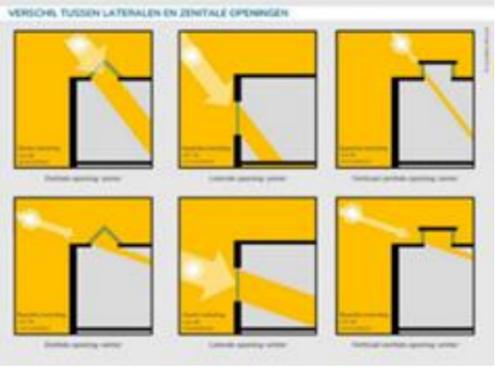
Source : (ert, 2012)

2-2-2- les paramètres architecturaux :

**Tableau 2 : Les paramètres architecturaux de l'architecture bioclimatique**

(Source : auteur)

Le paramètre	L'explication	L'illustration
1-La compacité du bâtiment	<p>Une forme compacte, groupées permet de réduire les pertes de chaleur et d'optimiser l'utilisation de l'énergie et réduire des pertes énergétiques. (DPLG, 2010)</p>	 <p><b>Figure 14 : le rôle de la compacité</b> Source : (ResearchGate, 2019)</p>
2- Les matériaux de construction	<p>Le choix des matériaux permet de maximiser l'efficacité énergétique minimiser l'impact environnemental</p> <p>Les matériaux à forte inertie thermique tels que la pierre, la brique... et à forte isolation, tels que laine de roche, la laine de verre ...permet de conserver la chaleur ou la fraîcheur, réduire les pertes de chaleur et réguler la température et optimiser le confort à l'intérieur du bâtiment (Marcheteau, 2021)</p>	 <p><b>Figure 15 : les différents types des matériaux isolants</b> Source : (ecoconso, 2017)</p>

<p>3- Les ouvertures</p>	<p>Le bien positionnement et dimensionnement des ouvertures Joue un rôle essentiel dans la régulation thermique et la réduction de la dépendance à l'éclairage artificiel et de l'énergie. (Fastrez, 2023)</p>	 <p><b>Figure 16 : les différents choix de positionnement des ouvertures</b></p> <p>Source : (guide bâtiment durable, 2013)</p>
<p>4-Les avancées</p>	<p>Ils sont 3 types :</p> <p>Les avancées horizontales : c'est une protection efficace pour l'orientation sud, les meilleurs exemples sont donnés par les auvents, les débords de toitures, les balcons, les linteaux des fenêtres...</p> <p>Les avancées verticales : "L'efficacité de ce type de protection varie en fonction de la largeur des fenêtres orientées à l'est ou à l'ouest. Ces protections incluent les décrochements de façade, les retours de bâtiments et les tableaux des fenêtres..."</p> <p>Les combinaison (Kaoula dalel, 2016)</p>	 <p><b>Figure 17 : un type d'avancees hozizontale (auvent)</b></p> <p>(Source : verandair, 2023)</p>

### **2-3- Les principes de l'architecture bioclimatique :**

Avec les paramètres précédents qui reposent sur l'utilisation intelligente des conditions climatiques locales afin de maximiser le confort des occupants et leur impact environnemental, l'architecture bioclimatique se caractérise par les principes suivants (Batizze,2024) :

- Utilisation des matériaux sains et durables dans la construction et la décoration.
- Utilisation des énergies renouvelables telles que les panneaux solaires thermiques, l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne dans les systèmes d'éclairage, de production de chaleur et de ventilation.
- Utilisation des systèmes de chauffage économiques et performants
- Utilisation d'équipements économes en eau et en énergie (ampoules basse consommation, minuterie, réduction des débits d'eau ;
- Utilisation de systèmes électroniques de régulation

Donc, l'intégration des énergies renouvelables, qui fait l'objet de notre travail, est l'un des principes de l'architecture bioclimatique.

### **3-Les énergies renouvelables en architecture :**

#### **3-1 Histoire de l'énergie :**

Le développement de l'énergie est passé par plusieurs étapes, en commençant par l'homme primitif qui comptait sur lui-même pour déplacer les choses et allumer le feu, en passant par l'utilisation d'animaux, l'utilisation de moulins fonctionnant à l'eau et avec le vent (avant le 18<sup>ème</sup> siècle), machines à vapeur (disparition 20<sup>-ème</sup> siècle), géothermie jusqu'à la révolution industrielle, puis son invention des machines industrielles, à l'utilisation du pétrole, son invention de l'énergie électrique, puis l'énergie nucléaire. Depuis la fin du 20<sup>-ème</sup> siècle, en réponse à un début de raréfaction du pétrole et aux impacts climatiques et sanitaires négatifs des énergies carbonées ainsi qu'aux accidents une réorientation mondiale vers les énergies renouvelables est constatée. (Wikipedia, *Portail:Énergie renouvelable*, 2022)

### 3-2 Définition des énergies renouvelables :

Proviennent de sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants (naturels les rayons du soleil, le vent ou encore les déchets organiques). Ils sont appelés les énergies vertes (ne dégagent aucun gaz et ne polluent pas l'environnement). On l'utilise pour réduire l'utilisation des énergies fossiles et de l'énergie nucléaire. : (Youmatter, 2023)

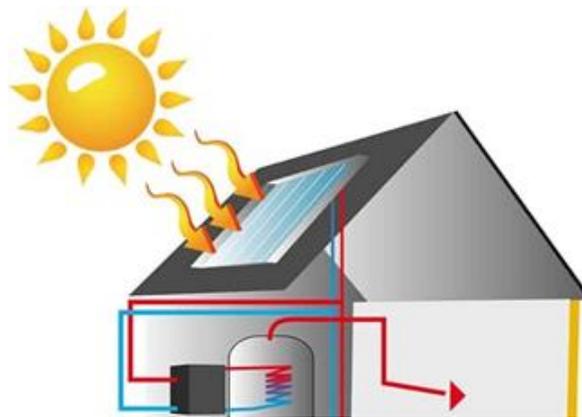
Les sources d'énergie renouvelable sont diverses et variées, notamment l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'hydroélectricité, l'énergie géothermique et l'énergie de la biomasse.

Mais nous ne nous intéresserons qu'à deux types d'énergies renouvelables, qui feront l'objet de nos recherches et seront incluses dans le projet final de fin d'études, et qui sont l'énergie solaire photovoltaïque, et l'énergie éolienne.

### 3-3 L'énergie solaire en architecture : Il est divisé en deux types principaux sont :

#### 1) L'énergie solaire thermique :

- ✓ Utilisation directe : pour chauffer des locaux (transforment la lumière du soleil en chaleur par rayonnement le but est de chauffer un fluide)
- ✓ Utilisation indirecte : pour la production de vapeur pour entraîner des turbines et obtenir une énergie électrique (énergie solaire thermodynamique) (Youmatter, 2023)



**Figure 18: Energie solaire thermique**

Source : (Claudet, 2022)

## 2) Énergie photovoltaïque :

- ✓ A partir de la transformation de la lumière du soleil en électricité grâce aux cellules photovoltaïques.

### 3-3-1 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

#### 3-3-1-a Les avantages :

- C'est une énergie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
- L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- Entretien minimal.
- Aucun bruit l'ensemble des installations électriques alimentés aux panneaux photovoltaïques. (Claudet, 2022). (BELAID S,2015)

#### 3-3-1-a Les inconvénients :

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relève de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
- Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher. (BELAID. S,2015)

### 3-3-2 Le système photovoltaïque :

Il est composé de (TOUMI Nihed , KOUDA Iskandar,2020) :



**Figure 19: Le système photovoltaïque**

Source : (solarpedia, 2020)

1. Un panneau/module photovoltaïque : composé de cellules photovoltaïques, formées de couches de silicium.



**Figure 20 : Panneau photovoltaïque**

Source (Lavillat)

2. La batterie : Pour pouvoir utiliser cette énergie pendant la nuit, il est nécessaire de stocker cette énergie dans des batteries. Elles sont des composantes importantes pour les systèmes photovoltaïques



**Figure 21 : La batterie**

Source :(guide-panneaux-photovoltaïques)

3. Le régulateur : contrôler les charges et les surcharges et réguler la charge de la batterie et en protégeant les batteries solaires et les décharges profondes et assure le mieux possible le bon fonctionnement de la batterie.



**Figure 22 : Le régulateur**

Source (Technologies, 2024)

4. L'onduleur : convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC)



**Figure 23 : L'onduleur**

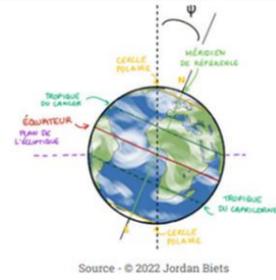
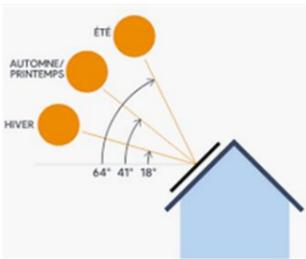
Source (solaris store)

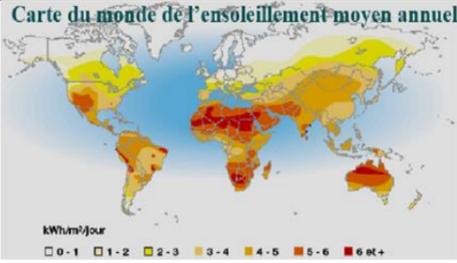
5. La charge à alimenter : Elle peut être une maison, une pompe, un réseau ....
6. Les supports : utilisés pour fixer les panneaux photovoltaïques.
7. Les câbles/fils électriques : ils servent à connecter les différents éléments. Ils doivent avoir une section adaptée pour transporter le courant sans induire une grande chute de potentiel.

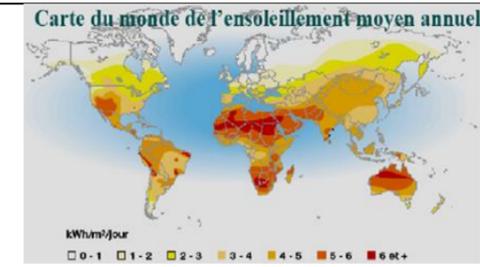
3-3-3 Les facteurs affectant le rendement de système photovoltaïque : Le rendement /capacité de production électrique d'un panneau photovoltaïque varie en fonction de l'angle d'incidence des rayons solaires. Ce rendement est déterminé par plusieurs facteurs :

**Tableau 3 : Les facteurs affectant le rendement de système photovoltaïque**

(Source, auteur )

Le facteur	Leur influence	L'illustration																															
<p>1-L'orientation</p>	<p>L'orientation dépend de l'emplacement géographique où les panneaux sont installés.</p> <p>Car dans l'hémisphère Nord, le soleil apparaît au Sud, tandis que dans l'hémisphère sud, sa trajectoire se fait au Nord. ( <i>TUCOENERGIE</i> ).</p> <p>Donc, les panneaux sont orientés vers le sud dans l'hémisphère Nord et à l'inverse, vers le Nord dans l'hémisphère sud pour maximiser la capture de la lumière solaire directe. Plus on se rapproche de l'équateur moins l'orientation sera importante. (MonKitSolaire, 2023)</p>	 <p><b>Figure 24 : Mouvement du soleil par rapport aux deux hémisphères</b></p> <p>(Source : <i>TUCOENERGIE</i>)</p>	<table border="1" data-bbox="2234 520 2870 793"> <thead> <tr> <th>Orientation des panneaux</th> <th>Rendement de l'installation</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sud</td> <td>100 %</td> </tr> <tr> <td>Sud-est</td> <td>Entre 90 % et 95 %</td> </tr> <tr> <td>Sud-ouest</td> <td>Entre 90 % et 95 %</td> </tr> <tr> <td>Est</td> <td>Entre 75 % et 85 %</td> </tr> <tr> <td>Ouest</td> <td>Entre 75 % et 85 %</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Figure 25 : Exemple de rendement entre les diverses orientations possibles pour l'hémisphère nord</b></p> <p>(Source : (MonKitSolaire, 2023))</p>	Orientation des panneaux	Rendement de l'installation	Sud	100 %	Sud-est	Entre 90 % et 95 %	Sud-ouest	Entre 90 % et 95 %	Est	Entre 75 % et 85 %	Ouest	Entre 75 % et 85 %																		
Orientation des panneaux	Rendement de l'installation																																
Sud	100 %																																
Sud-est	Entre 90 % et 95 %																																
Sud-ouest	Entre 90 % et 95 %																																
Est	Entre 75 % et 85 %																																
Ouest	Entre 75 % et 85 %																																
<p>2-L'inclinaison</p>	<p>Le panneau photovoltaïque doit être placée de façon perpendiculaire aux rayons du soleil.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-L'inclinaison optimale varie au cours de l'année.</li> <li>-En hiver, le soleil est bas par rapport à l'horizon. L'angle idéal pour assurer un rendement maximal se situe autour de 60°.</li> <li>-En été, lorsque le soleil est au plus haut, un angle de 20° est le mieux adapté.</li> </ul> <p>Au printemps et en automne, l'angle optimal est quant à lui de 45°.</p> <p>-Elle se mesure en degré. Elle correspond à la pente du panneau photovoltaïque par rapport à l'horizontale.</p> <p>L'Inclinaison optimale s'obtient par la formule : <math>\alpha = \phi + 10^\circ</math> Avec :</p> <p>-<math>\alpha</math> : Inclinaison optimale ;    -<math>\phi</math> : Latitude du lieu. (MonKitSolaire, 2023)</p>	 <p><b>Figure 26 : Les angles de rayonnement solaire durant l'année</b></p>	<table border="1" data-bbox="2234 1123 2686 1388"> <thead> <tr> <th>INCLINAISON \ ORIENTATION</th> <th>0°</th> <th>30°</th> <th>60°</th> <th>90°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EST</td> <td>93%</td> <td>90%</td> <td>78%</td> <td>55%</td> </tr> <tr> <td>SUD - EST</td> <td>93%</td> <td>96%</td> <td>88%</td> <td>66%</td> </tr> <tr> <td>SUD</td> <td>93%</td> <td>100%</td> <td>91%</td> <td>68%</td> </tr> <tr> <td>SUD - OUEST</td> <td>93%</td> <td>96%</td> <td>88%</td> <td>66%</td> </tr> <tr> <td>OUEST</td> <td>93%</td> <td>90%</td> <td>78%</td> <td>55%</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Figure 27 : Le rendement des panneaux photovoltaïques en fonction de l'orientation et l'inclinaison</b></p> <p>Source : (MonKitSolaire, 2023)</p>	INCLINAISON \ ORIENTATION	0°	30°	60°	90°	EST	93%	90%	78%	55%	SUD - EST	93%	96%	88%	66%	SUD	93%	100%	91%	68%	SUD - OUEST	93%	96%	88%	66%	OUEST	93%	90%	78%	55%
INCLINAISON \ ORIENTATION	0°	30°	60°	90°																													
EST	93%	90%	78%	55%																													
SUD - EST	93%	96%	88%	66%																													
SUD	93%	100%	91%	68%																													
SUD - OUEST	93%	96%	88%	66%																													
OUEST	93%	90%	78%	55%																													

3-La latitude	<p>La latitude sous laquelle se situe le projet.</p> <p>-Plus la couleur est foncée, plus l'intensité est forte. À l'inverse, plus la couleur est claire, plus l'intensité est faible. (MonKitSolaire, 2023)</p>	 <p><b>Figure 28 : les différentes intensités de rayonnements solaires dans le monde</b></p> <p>Source : (MonKitSolaire, 2023)</p>
4-La technologie des cellules photovoltaïques	<p>Les cellules monocristallines offrent un rendement plus intéressant que les cellules polycristallines. (MonKitSolaire, 2023)</p>	
5-La puissance crête d'installation photovoltaïque	<p>Correspond à sa capacité de production. Cette puissance, elle est déterminée en fonction de différents éléments, tels que le niveau de consommation, ou les caractéristiques de logement. (MonKitSolaire, 2023)</p>	
6-La température extérieure	<p>Les modules photovoltaïques offrent un rendement idéal à 25°C. Au-dessus de cette température, le rendement diminue. (MonKitSolaire, 2023)</p>	
7- L'entretien régulier des panneaux solaires	<p>Et l'élimination des éléments pouvant limiter la réception de rayonnement solaire tels que (poussière, feuilles, pollution, sable, déjection d'oiseau...). (MonKitSolaire, 2023)</p>	



**Figure 28 : les différentes intensités de rayonnements solaires dans le monde**

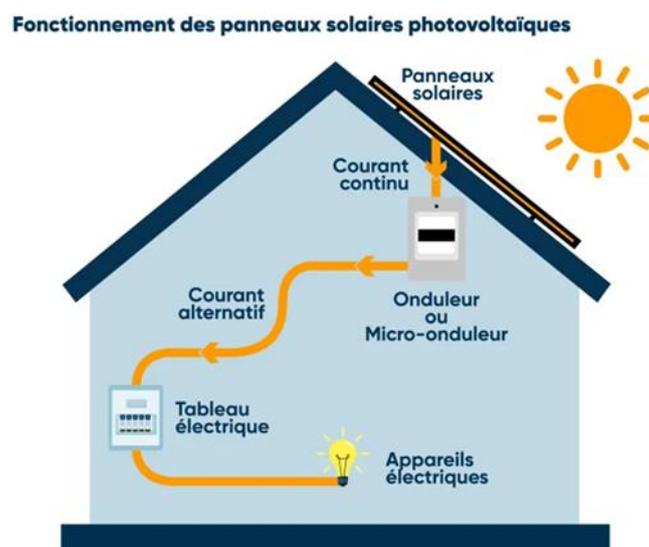
Source : (MonKitSolaire, 2023)

### 3-3-4 Fonctionnement d'un panneau photovoltaïque :

1-Les photons de la lumière solaire entrent en contact avec les cellules photovoltaïques qui composent vos panneaux.

2-L'énergie transmise permet aux électrons du matériau semi-conducteur du panneau de se mettre en mouvement afin de créer un courant électrique continu.

3-L'onduleur permet de transformer ce courant électrique continu en courant alternatif. L'électricité produite peut ainsi être utilisée pour alimenter les équipements électroménagers mais aussi être réinjectée dans le réseau public. (Stoecklin)



**Figure 29 : fonctionnement des panneaux photovoltaïques**

(Source : (Effy))

### 3-3-5 Exemples des projets :

Bullitt Center (Seattle, USA) : c'est un immeuble de bureaux avec six étages et 50 000 pieds carrés, situé à Seattle, conçu par l'architect Miller Hull Partnership. (Porada, 2023)

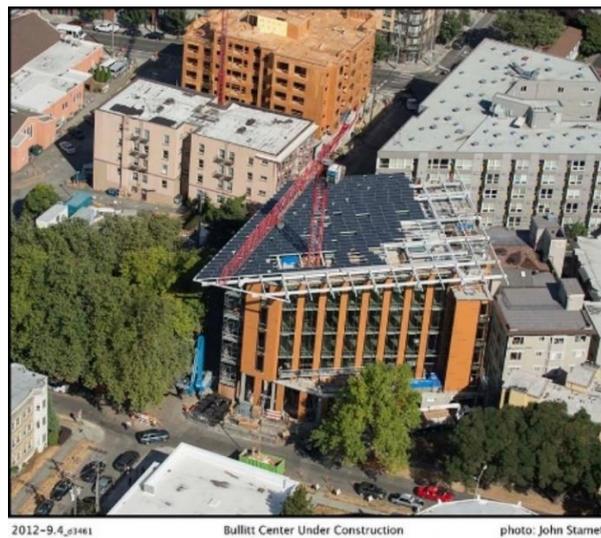


**Figure 30 : Bullitt Center**

Source : ((Porada, 2023)

Des systèmes d'architectures durables sont utilisés pour rendre le Bullitt Center un projet unique :

- Le premier système c'est le système de collecte des eaux de pluie dans une citerne de 56 000 gallons où l'eau est filtrée et désinfectée.
- Le deuxième système est le réseau de panneaux photovoltaïques sur le toit du bâtiment, qui s'étendent loin derrière le bord du bâtiment pour produire environ 230 000 kilowattheures par an. Cette quantité fournit 83% de la production d'énergie utilisée dans ce bâtiment.



**Figure 31 : toiture de Bullitt Center**

Source : (Porada, 2023)

Bullitt Center: Energy Use & Solar Budget

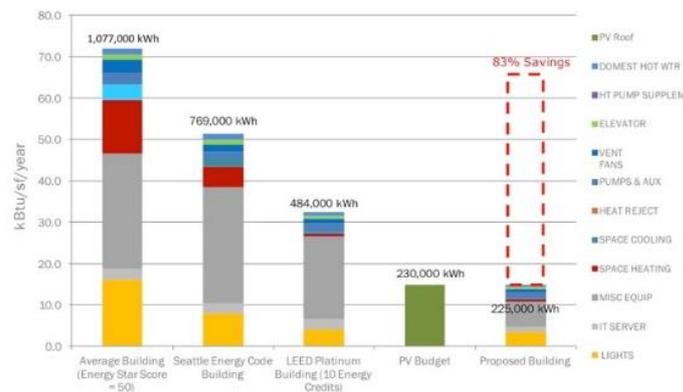


Figure 32 : Économie d'énergie solaire

Source : (Porada, 2023)

Pearl River Tower (Guangzhou, China) (Tour de la rivière des Perles) : (Oy Windside Production Ltd, 2020)

Conçu par Skidmore Owings & Merrill (SOM), c'est un bâtiment d'usage commercial et de bureau de 71 étages situé à Guangzhou, en Chine, mesure 309 mètres de haut et il est considéré comme l'un des grands bâtiments les plus économes en énergie.



Figure 33: Pearl River Tower

Source: (Oy Windside Production Ltd, 2020)

- Il été conçue comme un bâtiment à zéro émission pour maximiser l'utilisation des d'énergie. Il combine plusieurs solutions intelligentes d'efficacité énergétique et d'énergie naturelle.
- La Pearl River Tower combine entre plusieurs solutions énergétiques durables comme les panneaux solaires, un mur-rideau à double peau, l'énergie éolienne, un système de plafond rafraîchissant, une ventilation par le sol et la récupération de la lumière du jour.
- La tour contient quatre souffleries, chacune contenant une éolienne à axe vertical de 5 mètres de haut et 2 mètres de large. Les éoliennes installées fournissent un total de 30 000 kilowattheures d'énergie par an, ce qui représente jusqu'à 5 % des besoins énergétiques de la ville. Ce bâtiment. Les tunnels bénéficient également d'un système de ventilation qui recycle le vent aspiré dans les tunnels et le renvoie aux éoliennes. (Oy Windside Production Ltd, 2020)

### 3-4-L'énergie éolienne en architecture :

#### 3-4-1 Définition de l'énergie éolienne et son importance :

L'énergie éolienne est l'énergie générée par la force du vent, utilisée pour produire de l'électricité verte. Elle est produite en convertissant l'énergie cinétique du vent en énergie électrique à l'aide de rotors et d'alternateurs. (Alpiq, 2022)



**Figure 34 : production de l'énergie éolienne**

Source : (echoomagazine)

L'énergie éolienne représente 5 % de l'électricité consommée en France en 2017. Elle est considérée comme une énergie renouvelable peu carbonée, émettant peu de CO<sub>2</sub> (7 g/kWh contre 418 g/kWh pour une centrale thermique). (Alpiq, 2022)

### 3-4-2 Les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne :

#### 3-4-2-a Les avantages de l'énergie éolienne :

1. Énergie propre et renouvelable : l'énergie éolienne émet peu de CO<sub>2</sub> et est inépuisable. (Marcheteau, 2021)

2. Réduction des émissions de gaz à effet de serre : l'énergie éolienne contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à la transition énergétique. (Edf, 2023)

3. Création d'emplois locaux : la production d'énergie éolienne génère des emplois dans divers secteurs, tels que l'étude, la fabrication, la construction et l'exploitation. (Edf, 2023)

#### 3-4-2-b Les inconvénients de l'énergie éolienne :

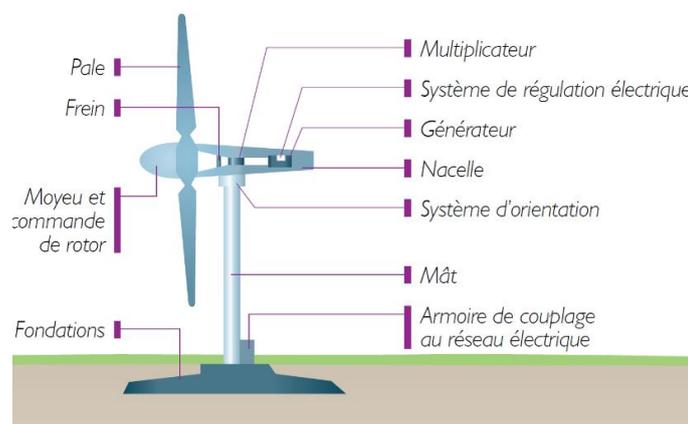
1. Impact sur la faune aviaire : les éoliennes peuvent nuire à certaines espèces d'oiseaux

2. Dépendance aux conditions météorologiques : la production d'énergie éolienne est influencée par les conditions météorologiques, ce qui peut entraîner des fluctuations dans la production d'électricité.

3. Impact visuel sur le paysage : les éoliennes peuvent avoir un impact négatif sur le paysage, notamment en termes d'esthétique et de perception. (Stoecklin)

En plus des avantages des énergies renouvelables évoqués précédemment, elles contribuent à améliorer le confort thermique à l'intérieure des bâtiments.

3-4-3 Composants d'une éolienne : Les éoliennes modernes sont composées de plusieurs éléments principaux, qui travaillent ensemble pour transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Les principaux composants d'une éolienne sont les suivants : (windustry )



**Figure 35 : Composants d'une éolienne**

Source (*Comment ça marche*)

1. *Pales de rotor* : Les pales de rotor d'une éolienne fonctionnent selon le même principe que les ailes d'avion. Elles sont placées au-devant de la nacelle et reliées à elle.

2. *Nacelle* : La nacelle contient un ensemble d'engrenages et un générateur. Les pales tournantes sont liées au générateur par les engrenages, qui convertissent la rotation relativement lente des pales en une vitesse de rotation du générateur. Le générateur convertit alors l'énergie de rotation des pales en énergie électrique.

3. *Mât* : Le mât est conçu en métal et supporte les principaux éléments de l'éolienne, à savoir la nacelle et le rotor. Il peut atteindre jusqu'à 100 mètres en hauteur. (De Les Valls, 2019)

4. *Fondation* : La fondation est généralement conçue en béton et doit être assez solide pour permettre de fixer toute la structure de l'éolienne. (De Les Valls, 2019)

5. *Cabine de dispersion* : Cette cabine, située à la base de l'éolienne, permet de se connecter au réseau électrique. (De Les Valls, 2019)

6. *Systèmes de contrôle et de sécurité* : Les systèmes de contrôle et de sécurité d'une turbine comprennent de nombreux composants, tels que les systèmes de freinage (aérodynamique, mécanique et électrique) et les systèmes d'orientation. (SPA, 2022)

*3-4-4 Les types d'éolienne :*

Il existe deux types d'éoliennes : à axe horizontal et à axe vertical.

Les éoliennes à axe horizontal : sont les plus courantes et se composent de pales assemblées en hélice tournant autour d'un mât placé horizontalement par rapport au sol. Elles peuvent être de deux types principaux en fonction de leur orientation au vent : les éoliennes parallèles au vent et les éoliennes perpendiculaires au vent. (L'équipe Choisir.com, 2024)

1. *Éoliennes horizontales parallèles à la direction du vent* : Le rotor est placé en parallèle à la direction du vent, ce qui permet de capter le vent de face ou de dos, selon le modèle. C'est le type le plus souvent utilisé pour des installations d'éoliennes domestiques et en petites séries. (L'équipe Choisir, 2021)

2. *Éoliennes horizontales perpendiculaires à la direction du vent* : Le rotor est placé en position perpendiculaire à la direction du vent, ce qui permet de capter le vent de manière plus efficace, surtout dans des conditions de faible vitesse du vent. Cependant, ce type d'éolienne est moins courant que les éoliennes parallèles au vent et est généralement réservé à des applications industrielles ou à des projets expérimentaux. (L'équipe Choisir, 2024)

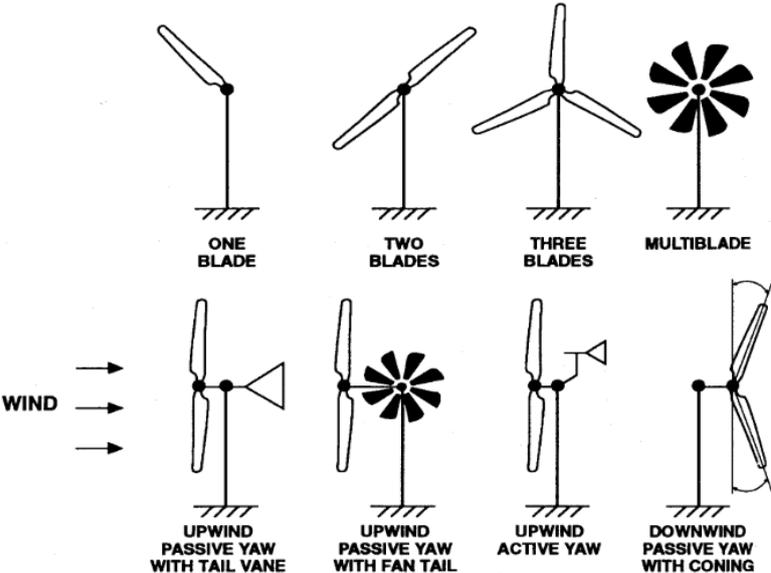


Figure 36 : éolienne à axe horizontal

Source (Dr. Ali M. Eltamaly, 2013)

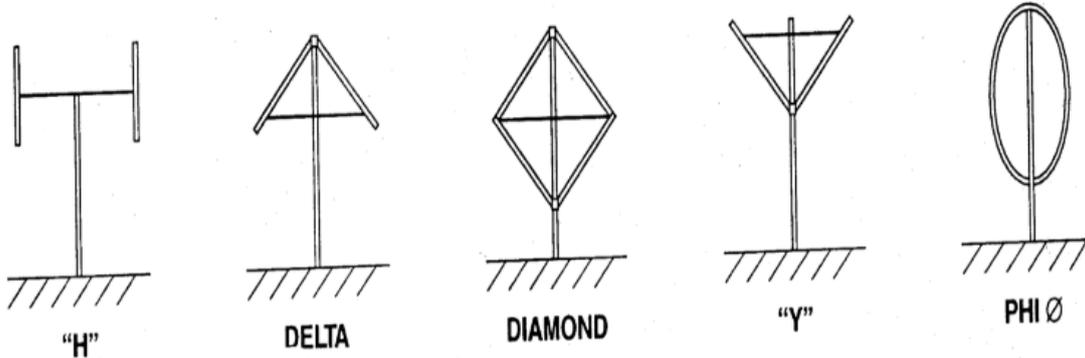


Figure 37 : éolienne à axe vertical

Source : (Ali M. Eltamaly , 201

Les énergies renouvelables sont considérées comme une raison pour économiser et produire beaucoup d'énergie, contrairement aux énergies fossiles qui sont mises en œuvre rapidement et consomment beaucoup d'énergie pour produire et transporter, et sont donc considérées comme une solution pour obtenir l'efficacité énergétique.

#### 4-L 'efficacité énergétique :

##### 4-1 définition de l'efficacité énergétique :

Aussi appelée efficacité énergétique, elle est le rapport entre la quantité d'énergie produite et l'énergie consommée (consommer moins mais mieux en améliorant les performances des appareils et des installations). On peut distinguer 2 types d'efficacité énergétique :

1. L'efficacité énergétique passive : elle concerne l'isolation, la ventilation et les équipements de chauffage d'un bâtiment.

L'efficacité énergétique active : elle est liée à la domotique, la gestion de l'énergie et la GTB (Gestion Technique du Bâtiment). (EDF ENR, 2024)

Afin d'améliorer l'efficacité énergétique :

- Le niveau de service fourni doit être augmenté avec une consommation d'énergie constante, à travers le recours aux énergies renouvelables
- Économie d'énergie en échange d'un service égal fourni, à travers le choix des

Matériaux, l'inertie de l'enveloppe, l'isolation et l'architecture bioclimatique

- Ou faites les deux en même temps. (MANSOUR Mohammed Amine. BOUKHATEM Sid Ahmed ,2017 )



**Figure 38 : Les leviers de l'efficacité énergétique**

Source : (Ben Hamlaoui R, Sahraoui A, 2015)

#### **4-2 Objectifs de l'efficacité énergétique :**

L'objectif principale est de réduire notre dépendance énergétique, et réduire la consommation des sources d'énergie fossiles qui contribuent largement au changement climatique. (eqinov ,2023 )

#### **4-3 Les avantages de l'efficacité énergétique :**

Elle présente les avantages suivants (eqinov ,2023) :

- La réduction des émissions de CO<sub>2</sub>,
- Les économies de coûts énergétiques,
- La réduction des frais de maintenance et d'entretien des systèmes efficaces,
- La stabilité des systèmes énergétiques en l'absence d'interruption dans la production.

#### **4-4 Les principes de l'efficacité énergétique :**

##### 4-4-1 - La conception architecturale des bâtiments :

La conception architecturale, en contrôlant l'orientation des façades et des ouvertures, la proportion de vitrage utilisée et la protection contre le soleil, peut grandement affecter la quantité d'énergie utilisée, dont une grande partie peut être perdue en cas d'utilisation abusive et de conception des éléments susmentionnés. Ils doivent donc être pris en compte dans la conception architecturale des bâtiments en évitant les grandes ouvertures dans les façades nord, susceptibles d'entrer l'air froid en hiver et ne permettent qu'un faible rayonnement solaire.

##### 4-4-2-L'isolation thermique des parois (murs et toiture) :

La bonne isolation thermique des bâtiments permet de réduire les échanges thermiques entre l'environnement intérieur et extérieur du bâtiment, réduisant ainsi les pertes de chaleur et d'énergie, cette isolation est utilisée selon les spécifications et les conditions climatiques du chantier

##### 4-4-3-Le choix des matériaux :

Les matériaux de construction et d'isolation choisis ont également un impact significatif sur la préservation de l'énergie et la réduction de ses pertes. Il faut donc choisir des matériaux d'isolation et de construction capables d'économiser de l'énergie.

#### 4-4-4-L'utilisation de vitrage de bonne performance optique et thermique :

Les ouvertures dans les murs, comme les fenêtres, constituent des points faibles de l'isolation du bâtiment et peuvent provoquer un transfert des échanges thermiques vers l'extérieur. La qualité du verre joue donc un rôle important dans le contrôle de l'ambiance intérieure des travaux, donc nous devons utiliser des fenêtres efficaces comme les fenêtres à double vitrage.

#### 4-4-5-l'intégration des Energies renouvelables :

L'efficacité énergétique peut être assurée grâce à l'utilisation de technologies avancées liées à l'utilisation des énergies renouvelables, telles que la production d'eau chaude sanitaire (ECS) à partir de l'énergie solaire, considérée comme la méthode la plus répandue, et l'utilisation des panneaux photovoltaïques pour la production de l'énergie pour le refroidissement au le chauffage.

#### 4-4-6-L'utilisation de systèmes d'éclairage performants :

En utilisant des lampes économiques telles que les ampoules LED qui consomment beaucoup moins d'énergie que des types traditionnels comme les ampoules à incandescence ou les ampoules halogènes standards, et utilisant de détecteurs de présence pour éteindre automatiquement les lumières dans les zones non utilisées afin de réduire le gaspillage d'énergie.

On peut également réduire la consommation d'énergie grâce aux systèmes d'éclairage naturel, tels que les lucarnes et les fenêtres, afin de réduire le besoin d'éclairage artificiel pendant la journée. (Ahmed Boumaaza Seif Eddine.2018)

#### *4-5- Les bâtiments à efficacité énergétique :*

Les bâtiments à basse consommation énergétique peuvent être classés en trois familles selon leurs niveaux de performances : bâtiments performants, bâtiments très performants et bâtiments zéro énergie ou à énergie positive : (Ahmed Boumaaza Seif Eddine.2018)

IV-6-1- Bâtiments performants : Appelés bâtiments basse consommation, ils se caractérisent par une conception architecturale bioclimatique, une bonne isolation thermique (15 à 20 cm d'isolation), des vitrages efficaces, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur de l'air extrait et, parfois lié au changement climatique. , un système de production performant (pompe à chaleur, chaudière bois, chaudière à condensation...) et une attention particulière est portée à la perméabilité à l'air et aux ponts thermiques. Nous utilisons également

des sources d'énergie renouvelables pour produire de l'énergie, comme le solaire, l'air, la géothermie ou le bois.

IV-6-2- Bâtiments très performants : Il s'agit en général de bâtiments "passifs" selon la définition de Dr. Wolfgang Feist de l'institut de recherche allemand Passivhaus (Passivhaus, 2007) « c'est un bâtiment dans lequel l'ambiance intérieure est confortable tant en hiver qu'en été, sans devoir faire appel ni à un système conventionnel de chauffage ou de refroidissement. »

IV-6-3- Bâtiments zéro énergie ou à énergie positive : C'est un bâtiment qui combine entre le bâtiments basse énergie ou passifs avec des toits solaires photovoltaïques et parfois thermiques, il produit l'énergie autant ou plus qu'il consomme.

Grâce aux stratégies mentionnées précédemment pour obtenir l'efficacité énergétique, telles que l'utilisation d'une isolation thermique appropriée, une ventilation efficace et un recours important à l'éclairage naturel, ces mêmes stratégies peuvent assurer le confort des passagers en créant des environnements intérieurs plus stables, plus sains et plus agréables d'une manière économique.

## **5-Le confort en architecture :**

### **5-1 définition du confort :**

Selon Larousse le confort est :« L'ensemble des commodités, des agréments qui produit le bien-être matériel » (Larousse)

C'est une sensation de bien-être avec l'environnement.il confort peut être thermique, acoustique, olfactif et visuel. (XPair)

### **5-2 Les types du confort :**

Il existe plusieurs types de confort, dont le confort thermique, le confort visuel et le confort acoustique et le confort olfactif, mais dans ce travail nous nous intéressons uniquement au confort thermique.

#### *5-2 -1 Le confort thermique :*

C'est une sensation de bien-être calorifique d'une personne qui concerne la sensation de chaleur ou de fraîcheur dans un espace (l'absence de « gêne thermique »), et dépend de la température, de l'humidité, de la circulation de l'air et de l'isolation thermique du bâtiment (BOUCHAALA MERIEM, 2016)

Pour que les individus se sentent confortables, ils doivent remplir trois conditions: (Hamloui zeyneb. Rekkab Ahlam, 2016)

- La température interne du corps doit rester constante à tout moment
- La température corporelle doit être égale dans toutes les parties du corps, de sorte qu'aucune partie du corps ne soit plus chaude ou plus froide que l'autre. (Inconfort local).
- La production de sueur doit être très faible et la température moyenne de la peau doit être confortable.

Chacun des « *B. GIVONI, M. EVANS, S. SZOCOLAY* » ont défini le confort thermique comme étant : « *le bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps Humain et de l'ambiance environnante* », donc Il s'agit des interactions physiques, physiologiques et psychologiques complexes entre l'occupant et son environnement. -(Hamlaoui Z. Rekkab A ,2016)

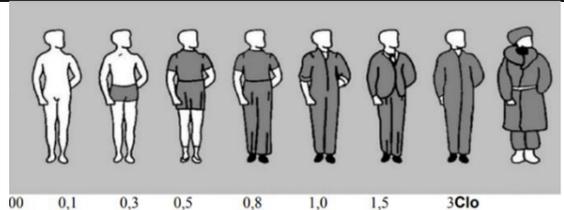
5-2-2 Les paramètres qui affectent le confort thermique :

La sensation de confort thermique repose sur des facteurs liés à l'ambiance, à l'individu et aux gains thermiques internes :

**Tableau 4 : Les paramètres qui affectent le confort thermique**

(Source : auteur)

Type de paramètre	Le paramètre	Explication	Illustration														
Paramètres liés à l'ambiance (Les paramètres objectifs) :	La température de l'air ambiant (Ta) :	<p>C'est la température de l'air ambiant dans une zone donnée, elle est considérée comme l'un des facteurs fondamentaux du confort thermique, elle est mesurée à l'aide d'un thermomètre à air qui prend en compte la température de l'air, la température de rayonnement des surfaces environnantes, la vitesse de l'air et l'humidité relative. (van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear, 2007 )</p> <p>Par exemple réglementation général française pour la protection du travail (RGPT), Impose des différentes valeurs des températures de l'air selon les types des locaux, sont données dans le tableau suivant : (van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear, 2007)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Type de local</th> <th>Température de l'air</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Locaux ou des gens habillés normalement sou nature Poso exercent une activité physique très légère. Par exemple: bureaux, salles de cours, salles d'attente, salles de réunion ou de conférence.</td> <td>21°C</td> </tr> <tr> <td>Locaux ou des gens peu ou pas habillés sontaur EPO sou exercent une activité physique très légère. Par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires.</td> <td>23à25°C</td> </tr> <tr> <td>Locaux ou des gens habillés normalement exercent une activité physique rées légère. Par exemple ateliers, la boratoires, cuisines.</td> <td>17°C</td> </tr> <tr> <td>Locaux ou des gens peu habillés exercent une grande activité</td> <td>17°C</td> </tr> <tr> <td>Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaires, sanitaire.</td> <td>17°C</td> </tr> <tr> <td>Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple garages, archives.</td> <td>5°C</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Figure 39: Valeurs de température de l'air ambiant</b> (Source :Hamlaoui zeyneb. 2016)</p>	Type de local	Température de l'air	Locaux ou des gens habillés normalement sou nature Poso exercent une activité physique très légère. Par exemple: bureaux, salles de cours, salles d'attente, salles de réunion ou de conférence.	21°C	Locaux ou des gens peu ou pas habillés sontaur EPO sou exercent une activité physique très légère. Par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires.	23à25°C	Locaux ou des gens habillés normalement exercent une activité physique rées légère. Par exemple ateliers, la boratoires, cuisines.	17°C	Locaux ou des gens peu habillés exercent une grande activité	17°C	Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaires, sanitaire.	17°C	Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple garages, archives.	5°C
	Type de local	Température de l'air															
	Locaux ou des gens habillés normalement sou nature Poso exercent une activité physique très légère. Par exemple: bureaux, salles de cours, salles d'attente, salles de réunion ou de conférence.	21°C															
	Locaux ou des gens peu ou pas habillés sontaur EPO sou exercent une activité physique très légère. Par exemple salles d'examens ou soins médicaux, vestiaires.	23à25°C															
Locaux ou des gens habillés normalement exercent une activité physique rées légère. Par exemple ateliers, la boratoires, cuisines.	17°C																
Locaux ou des gens peu habillés exercent une grande activité	17°C																
Locaux qui ne servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple corridors, cages d'escalier, vestiaires, sanitaire.	17°C																
Locaux uniquement gardés à l'abri du gel. Par exemple garages, archives.	5°C																
La vitesse de l'air :	Qui affecte les échanges thermiques par convection, elle ne doit pas généralement dépasser 0,2 m/s dans les bâtiments (van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear, 2007)																
L'humidité relative de l'air :	C'est le rapport entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température et la quantité maximale d'eau contenue à la même température, elle est exprimée en pourcentage (van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear, 2007)																
Le métabolisme :	La production de la chaleur à l'intérieure du corps humain, grâce à l'énergie acquise en brûlant des aliments elle permet de maintenir la température humaine autour de 36,7°C. Un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière qui s'ajoute au métabolisme de base d'un corps au repos. (van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear, 2007 )																

	L'habillement :	Représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. (Van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear, 2007)	
	La température moyenne des parois (TP) :	C'est la température moyenne des surfaces des parois (van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear, 2007)	
Paramètres liés à l'individu (Les paramètres subjectifs) :	La vêtue :	Les vêtements contribuent à la formation d'un microclimat dans le corps humain, car ils maintiennent une température corporelle acceptable et ajustent l'échange thermique entre la peau et l'environnement au fil des saisons, notamment en hiver, et en fonction de la nature du tissu et la coupe des vêtements. Il existe un indice qui caractérise la résistance thermique de chaque vêtement s'appelle « l'indice de vêtue » il est exprimé en Clo. (Hamlaoui zeyneb. Rekkab Ahlam. Hamoudi Abdelhalim , 2016 )	
	L'activité :	L'activité est la cause du métabolisme de l'individu et de la quantité de chaleur produite par le corps humain. De sorte qu'en cas d'activité très vigoureuse comme le sport, la température corporelle augmente et peut provoquer une sensation d'inconfort même en présence de conditions météorologiques appropriées. (Hamlaoui zeyneb. Rekkab Ahlam. Hamoudi Abdelhalim , 2016 )	
Paramètres liés aux gains thermiques internes :	Les technologies modernes, telles que l'éclairage et les appareils électroménagers, constituent une source majeure d'augmentation de la température dans l'environnement intérieur, car elles dégagent de la chaleur lors de leur utilisation et, avec les facteurs mentionnés précédemment, constituent une sorte d'inconfort. (Hamlaoui zeyneb. Rekkab Ahlam. Hamoudi Abdelhalim , 2016 )		

**Figure 40 : les valeurs des indices de vêtue exprimées en Clo<sup>12</sup>**

Source: (Hamlaoui zeyneb. Rekkab Ahlam. Hamoudi Abdelhalim , 2016 )

La gestion efficace du confort thermique dans un data center est très importante pour garantir un fonctionnement et une longévité optimaux. Les technologies passives mentionnées précédemment contribuent également à améliorer l'efficacité énergétique et à réduire les coûts liés à l'exploitation de ce type de bâtiment en raison de l'énorme consommation d'énergie.

<sup>12</sup> L'indice CLO (Clothing Insulation) est une unité de mesure permet de quantifier l'isolation thermique offerte par les vêtements.

## 6-Le centre des données (Data center) :

### 6-1- définition de data center :



**Figure 41 : data center**

Source (journaldunet,2023)

Le centre de données (data center), ou centre informatique est un lieu physique, dans lequel les équipements d'un système d'information (tels que : les ordinateurs centraux, les serveurs, les baies de stockage, les équipements de réseaux et de télécommunications, etc.) sont regroupés.

Le regroupement de ces équipements permet de gérer, maintenir et sécuriser l'ensemble des équipements et des données stockées (notamment la réalisation de calculs et de réfrigération). (Wikipédia)

Les entreprises utilisent les centres des données pour organiser, traiter, stocker et entreposer de grandes quantités de données (Bastien L,2023)

Ce type des projets, doit être bien sécurisé contre l'intrusion, le vol et les risques naturels et technologiques, et bien contrôlé en termes de climatisation, alimentation d'urgence, etc. Il peut occuper une pièce, un étage ou de grands immeubles.

La conception d'un data center doit tenir compte de l'efficacité énergétique, car un grand data center besoin de dizaines de mégawatts ou plus. (Bastien L,2023)

### 6-2 Un Green data center :

Un Green data center (centre de données écologique) est un type de centre de données, qui est conçu pour obtenir une efficacité maximale et réduire son impact sur l'environnement.

Il s'efforce d'améliorer sa consommation d'électricité grâce à un meilleur refroidissement et des systèmes de contrôle plus intelligents, en plus d'utiliser des matériaux de construction

respectueux de l'environnement, des énergies renouvelables et une meilleure gestion des déchets. (Mike Schmitt, 2021).



**Figure 42 : Green data center**

Source ( irishadvantage ,2020)

### **6-3- Le rôle d'un data center :**

Le rôle des data center est d'organiser, traiter, conserver et sécuriser des milliards de giga-octets de données disponibles sur internet (semjuice,2021).

Les centres de données sont importants car nous vivons dans un monde numérique moderne où tout le monde utilise les données, surtout après la pandémie de Covid de 2019 où tout se fait à distance. Par conséquent, toutes les personnes dans le monde (qui ont accès à Internet) utilisent les services fournis par les centres de données, quelle que soit leur activité, qu'il s'agisse d'envoyer des e-mails, d'acheter en ligne, d'utiliser les réseaux sociaux ou de sauvegarder un fichier dans le cloud, tout cela est stocké dans un centre de données

Ils offrent une infrastructure fiable et sécurisée pour héberger des applications essentielles, stocker des données sensibles et assurer la continuité des opérations. (Dan Cohen, 2023)

#### 6-4- Carte de localisation des Data center à Paris et dans le monde :



**Figure 43 : localisation des data centers dans le monde**

Source (Data Center Map, 2022)

La figure () montre qu'il existe plus de 4 500 centres de données dans le monde, répartis dans 122 pays, de sorte que l'Amérique en compte à elle seule plus de 1 800, dont 300 en Californie. En Europe, Londres est considérée comme la ville qui contient le plus de centres de données, avec plus de 337 centres. (Juvénal JVC)

#### 6-5- Choix de l'emplacement de centre de données :

Coûts et disponibilité de la main-d'œuvre à proximité du projet

Conditions environnementales pertinence : Les variations de température, d'humidité, les tremblements de terre, les ouragans, les tempêtes de neige et les tornades peuvent perturber le fonctionnement des installations pour une durée illimitée.

Accessibilité et qualité des aéroports et des autoroutes à proximité du projet

Disponibilité de l'infrastructure de télécommunication

Proximité des Utilisateurs

Sécurité et Stabilité Politique du pays

Sécurité contre les menaces physiques et électroniques telle que l'accès non autorisé, les incendies, etc.

Il doit être proche d'un endroit où les sources et les gisements renouvelables sont disponibles. (Juvéнал JVC).

### **6-6- Types de centres de données :**

Il existe différents types d'installations de centres de données, et une même entreprise peut en utiliser plusieurs, en fonction de ses charges de travail et de ses besoins (Ibm) :

#### *6-5-1-Centres de données d'entreprise (sur site) :*

Dans ce type de data center, toute l'infrastructure informatique et les données d'une seule entreprise sont hébergées sur site, ce type est préférée par les entreprises, pour qu'elles puissent bien contrôler et assurer la sécurité de leurs propriétés et ressources. Les entreprises sont responsables de toutes les tâches de déploiement, de surveillance et de gestion de l'infrastructure.

#### *6-5-2-Centres de données cloud publics :*

Ou appelés centres de données de cloud computing, ils sont gérés par des grands fournisseurs de services cloud, tels que Google cloud, Amazon web, ils contiennent un hébergement des ressources d'infrastructure informatique partagée par plusieurs clients (parfois leur nombre dépasse des millions).

#### *6-5-3-Centres de données gérés et installations de colocation :*

Sont une solution pour les organisations et les entreprises qui n'ont pas de l'espace. Dans ce type l'entreprise cliente qui possède toute l'infrastructure, loue des serveurs dédiés, du matériel de stockage et de mise en réseau auprès du fournisseur de centre de données, et le fournisseur de centre de données gère l'administration, la surveillance et la gestion pour l'entreprise cliente.

### **6-7- Les classifications d'un centre de données :**

L'institut Uptime<sup>13</sup> propose 4 niveaux de certification qui appelés « Tier »<sup>14</sup> pour évaluer efficacement la capacité d'hébergement et la qualité des services d'un data center (semjuice, 2021) :

---

<sup>13</sup> **L'Uptime Institute** : une organisation internationale fondée en 1993 pour établir des standards de qualité et de performance des centres de données. Il offre des certifications et des services de conseil pour aider les entreprises à construire des centres de données de haut niveau de disponibilité et de fiabilité.

<sup>14</sup> **Tier** : Système de classement définie par l'Uptime Institute aux centres des données selon leur infrastructure, leur redondance, et leur disponibilité. Il aide les entreprises à évaluer la fiabilité et la performance d'un centre de données.

- Tier I : Data Center Basique :

C'est le premier niveau de certification, il correspond à un data center qui fonction avec une seule alimentation électrique et ne bénéficie d'aucune source d'énergie supplémentaire, le taux de disponibilité de ce niveau est de 99,671%.

Il nécessite une moyenne d'interruption de 28,8 par an (minimum 1 arrêt de services chaque année) pour la maintenance des installations.

- Tier II : Data Center avec Redondance

C'est un centre de données dont l'apport en électricité et la capacité de calcul sont renforcés par des équipements tels que : les groupes électrogènes, les onduleurs etc. Ce niveau offre un taux de disponibilité de 99,741% (en moyenne 22 heures d'interruption chaque année).

- Tier III : Data Center avec Maintenabilité ce type est relié à deux sources d'alimentation en électricité (la maintenance sans interrompre les services) avec un taux de disponibilité de 99,982%, et seulement 1,6 heure d'interruption en moyenne chaque année.

- Tier IV : Data Center avec Tolérance aux pannes

Il correspond au niveau d'efficacité le plus élevé du classement de l'institut d'Uptime, il dispose de plusieurs sources d'énergie qui alimentent les équipements informatiques d'une manière continuée. Cela permet de bénéficier des fonctions « Continuous Cooling » et « Continuous Power » qui assurent la continuité des services même en cas d'arrêt imprévu d'un composant. Il offre un taux de disponibilité de 99,995% (interruption de moins d'une heure par an).

### **6-8-Le fonctionnement d'un centre de données :**

Un data center est comme un centre névralgique dans lequel sont regroupés les serveurs, les systèmes de stockage et les équipements informatiques qui travaillent ensemble pour traiter, organiser, stocker, sécuriser et distribuer des quantités massives de données.

Dans un premier temps, les serveurs sont installés dans des racks et connectés à un réseau à très haut débit. Le fonctionnement du centre de données doit être continu sans interruption (24 heures sur 24, 7 jours sur 7), et avoir une gestion des pannes et de la chaleur générer par les serveurs, pour cela des systèmes de redondants tels que les (UPS) systèmes d'alimentation sans interruption, et les générateurs de secours sont nécessaires, avec systèmes de refroidissement aussi pour dissiper efficacement la chaleur générer par les serveurs. (Dan Cohen, 2023)



**Figure 44 : l'organisation des serveurs**

Source : (exter, 2023)

### **6-9-Les défis des centres de données :**

Les centres de données sont exposés à de nombreux risques sont (fcmicro, 2022) :

#### **✚ La consommation d'énergie**

C'est l'une des grandes dépenses, d'un centre des donner due au grand nombre de serveurs, exigences de refroidissement, les systèmes redondants pour garantir la fiabilité, et les besoins en connectivité et en gestion des infrastructures. Pour réduire l'empreinte carbone des centres de données tout en répondant à la demande croissante de services numériques il faut améliorer l'efficacité énergétique par l'adoption des sources d'énergie renouvelable

#### **✚ Le refroidissement des centres de données :**

Si un centre de données n'est pas correctement refroidi, les équipements peuvent surchauffer et tomber en panne

#### **✚ La gestion de la sécurité**

La sécurité dans ce projet c'est une préoccupation essentielle, il faut les protéger contre les menaces physiques et cybernétiques.

#### **✚ Les risques naturels**

Les centres de données sont soumis à plusieurs risques environnementaux, tels que les tremblements de terre, les incendies et les inondations, il faut mettre des plans d'urgence pour faire face à ces catastrophes potentielles.

## ✚ L'impact environnementale

Les centres de données consomment beaucoup d'énergie et génèrent une grande quantité de chaleur. Donc il faut mettre en œuvre des stratégies visant à minimiser l'impact environnemental des centres de données.

### 6-10μ-Analyse des exemples des data centers :

Dans cette partie, nous analyserons deux projets, Nous tirons de chaque projet un certain nombre d'idées, et des concepts concernant la méthode de conception, la forme de projet, le fonctionnement, les espaces nécessaires de data center, les façades en plus des stratégies qui peuvent être suivies pour atteindre les objectifs de notre mémoire de fin d'études.

Ces projets sont :

- Naver data center (Sejong, Corée du Sud) : C'est le projet sur lequel nous nous sommes beaucoup concentrés, car il contient un programme riche et une collection de concepts qui nous aident à enrichir notre projet, et certains de ces concepts nous avons rencontrés dans d'autres projets au cours de nos recherches. (Darcy Chang,2019)



**Figure 45 : Projet naver data center**

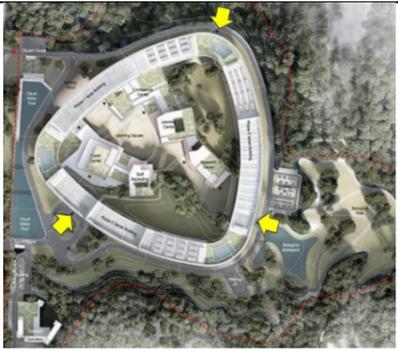
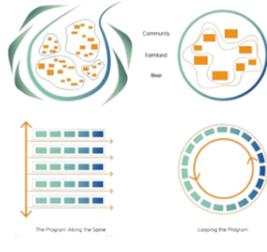
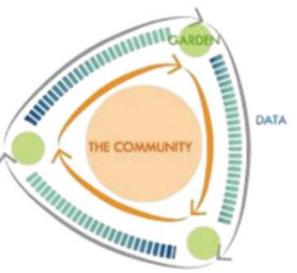
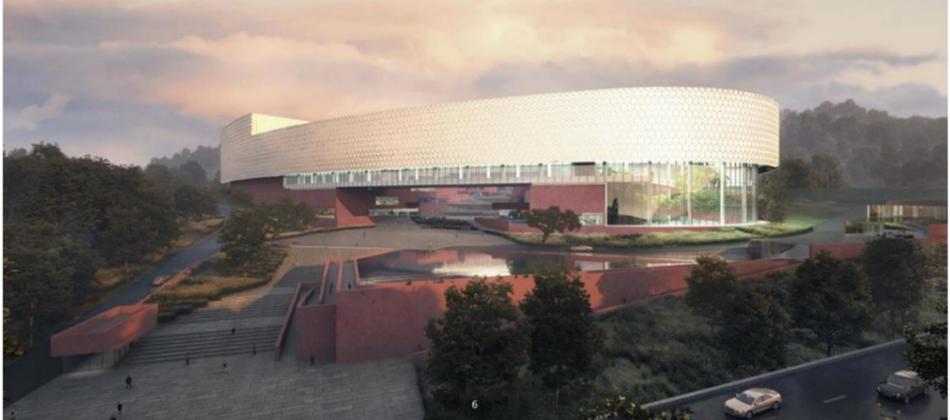
Source : (Darcy Chang,2019)

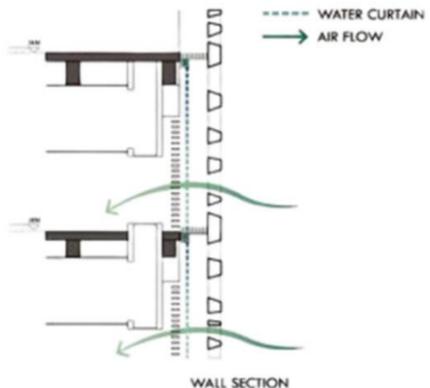
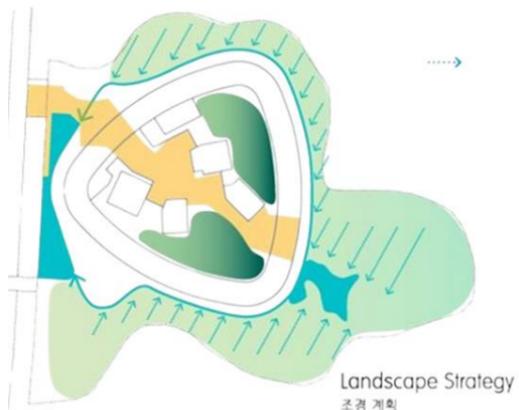
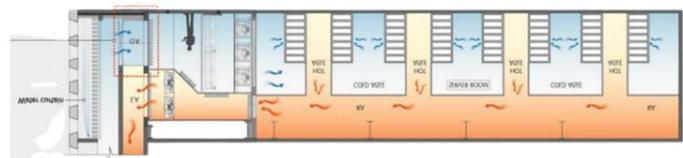
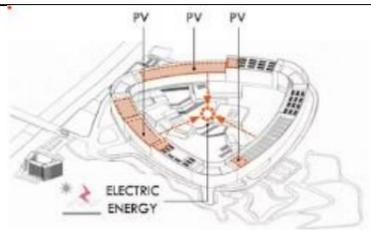
- Bahance data center : Dans ce projet, nous n'avons pris les plans et les fonctions existants (Le programme que nous avons extrait seront placés en annexe)

6-8-1Analyse de premier exemple : Naver data center (Sejong, Corée du Sud)

**Tableau 5 : L'analyse de naver data center**

(Source : auteur)

Naver data center (Sejong, Corée du Sud)				
Echelle Architectural				
Environnement	Présentation	Situation	Accessibilité	Plan de masse
	<p>Nom : centre de données de Naver</p> <p>Bureau d'architecture : BEHIVE</p> <p>Architectes principaux : Darcy Chang, Rachael Ouyang</p> <p>Équipe de conception : Jinwen Shangan, Yijun Chen, Stanley Chuang, Tianye Zhou</p> <p>Superficie brute construite : 250 000 m<sup>2</sup></p> <p>Sur un site de 255 815 mètres carrés,</p>	 <p><b>Figure 46 : village folklorique de Hahoe</b></p> <p>Située au Sejong, Corée du Sud, dans l'emplacement du village folklorique de Hahoe</p>	 <p><b>Figure 47 : l'accessibilité de naver data center</b></p> <p>Le projet est accessible à travers 3 entrées dans des directions différentes et reliées entre elles autour de l'ensemble du projet, ce qui facilite l'entrée malgré son grande taille.</p>	 <p><b>Figure 48 : l'harmonie entre le projet et son contexte</b></p> <p>Il s'inspire de ce village et reflète la façon dont un groupe de bâtiments construit en harmonie avec la nature et communique avec la montagne et la rivière</p>
Forme	Echelle Architectural			
	Idée de projet	Programme et distribution	Façade	
 <p><b>Figure 49 : l'idée de forme</b></p> <p>Ils ont proposé un système d'anneau dynamique (anneau de nuages) pour connecter tous les groupes de</p>	 <p><b>Figure 50 : distribution des espaces</b></p> <p>Le naver data center est composé de l'anneau extérieur, composé des bâtiments du centre de données et de l'espace mécanique et électrique, et l'anneau intérieur,</p>	 <p><b>Figure 51 : la façade de naver data center</b></p>		

	<p>bâtiments et limiter la flexibilité et l'efficacité de circulation, systèmes de chauffages et de climatisation, car la forme linéaire ne peut s'étendre que dans deux directions, et tous les programmes seraient disposés côte à côte. Cela cause une perte d'énergie et de temps.</p>	<p>qui est composé du centre de contrôle central avec le bâtiment de la sous-station en dessous, du centre de conférence, d'une série d'espaces d'apprentissage et de l'espace d'exposition.</p> <p>Et un l'espace de jonction entre deux espaces courbes où se trouve une série d'espaces verts biologiques verticaux (fermes intelligents), d'espaces de bureaux administratifs, d'espaces de maintenance de serveurs et de stockage.</p> <p>Il contient aussi une diversité en termes de fonctions présentes dans le projet qui ne sont présentes dans aucun autre centre de données. (Le programme et les plans seront inclus dans les annexes)</p>	<p>La peau de l'anneau extérieur est un système de mur-rideau purifié par filtre à air multicouche</p>	
<p>Concepts utilisée</p>	<p>Méthode de refroidissement</p>  <p><b>Figure 52 : le système de rideau d'eau</b></p> <p>Ils ont utilisé la méthode de refroidissement des serveurs par air extérieur direct, dans laquelle l'air traverse la première couche de peau et est purifié par un système de rideau d'eau installé à l'extérieur de la persienne horizontale. Ensuite, l'air circule à travers la</p>	<p>Conception de jardins pluviaux, et la gestion des eaux pluviales</p>  <p><b>Figure 53 : système des jardins pluviaux</b></p> <p>Ils ont utilisé le, des rigoles biologiques et de la végétation pour gérer l'eau de pluie sur le site.</p> <p>Les eaux de pluie et les eaux grises sont utilisées pour la chasse d'eau des toilettes,</p>	<p>Stockage de la masse thermique</p>  <p><b>Figure 54 : Le déplacement de la chaleur des serveurs</b></p> <p>La chaleur résiduelle de la salle des serveurs a été utilisée pour le chauffer les fermes intelligentes et fournir de l'eau chaude, et pour l'agriculture intérieure.</p>	<p>Utilisation d'énergie solaire photovoltaïque</p>  <p><b>Figure 55 : la Situation des panneaux photovoltaïques dans le projet de naver</b></p> <p>Ils ont utilisé une surface de 22 000 m<sup>2</sup> des PV mono-silicium qui permettent de produire 5 006 000 kWh d'énergie et Contribuer à 2,49 % d'économie d'énergie.</p>

	persienne jusqu'à la salle de climatisation AMU. Les poussières fines et le pollen présents dans l'air entrant sont bloqués et filtrés par le rideau d'eau. Cette méthode de refroidissement des serveurs permet de réduire la température de l'air extérieur, de réaliser des économies d'énergie, et d'assurer une longue durée de service et une grande efficacité.	l'irrigation et le lavage des routes, afin de réduire la consommation d'eau potable.  Pour la sécurité contre les incendies, une zone écologique, aménagée avec des espaces en pierre et en eau autour du centre de données, permet de prévenir les incendies grâce à un système de drencher.		
--	--	---	--	--

**Conclusion :**

L'architecture durable et l'architecture bioclimatique sont des approches complémentaires visant à concevoir des bâtiments respectueux de l'environnement. L'architecture durable se concentre sur les trois piliers de la durabilité – économique, sociale et environnementale – pour répondre aux besoins d'aujourd'hui sans compromettre ceux des générations futures. L'architecture bioclimatique, quant à elle, se concentre sur l'optimisation de la conception des bâtiments en fonction des conditions climatiques locales afin d'augmenter l'efficacité énergétique et le confort des occupants tout en réduisant l'impact environnemental.

# **Chapitre 03 : Cas d'étude**

**Introduction :**

La Ville Nouvelle de Sidi Abdallah a été créée en application des dispositions du décret exécutif n°04-275 du 5 septembre 2004 fixant les attributions, les services d'intervention et les plans d'aménagement de la Métropole d'Alger.

Dans ce chapitre, on va faire une analyse de la ville nouvelle de Sidi Abdallah, une analyse de notre aire d'interventions, analyse AFOM, et le plan d'action.

**1-Analyse territoriale :****1-1-Les critères de choix de La ville de sidi Abdallah :**

- ✓ Elle inscrite dans la démarche algérienne d'utilisation des énergies renouvelables.
- ✓ La ville de sidi Abdallah est un cas d'étude propice pour notre thématique de recherche qui s'inscrit dans l'option de notre atelier « architecture, environnement et technologie », elle vise être une ville intelligente tout en assurant la préservation et la protection de l'environnement.
- ✓ Elle possède un caractère environnemental et climatique caractérisé par une fréquence et une qualité d'ensoleillement élevée, une importance des vents liée à la topographie du terrain, ce qui favorise le développement d'un programme spécial pour les énergies renouvelables. (Mission B)

**1-2- Fiche technique de la nouvelle ville de Sidi Abdallah :**

- Maître d'ouvrage : le ministère de l'habitat et de l'urbanisme et de la ville.
- Maitre d'œuvre : VNSA (l'établissement qui prend en charge la ville nouvelle)
- Date de création de la ville nouvelle : 05/09/2004 portant création de la Ville (décret exécutif 04-275)
- Date d'achèvement de la ville nouvelle : 2030 (s'inscrit dans le SNAT 2030)
- Le montant global (initial) : 96 984 000 000 DA
- Surface de la ville nouvelle : 7000 ha (3000 ha à urbaniser ;4000 ha de protection)
- Population future de la ville nouvelle : 200 000 habitants

Emplois prévus : 80000 emplois (république algérienne démocratique et populaire, 2004). (Mission B)

**1-3-La situation de la ville :**

La nouvelle ville de sidi Abdallah est inscrite dans l'Aire métropolitaine d'Alger, qui se trouve dans le nord de l'Algérie, le long de la côte méditerranéenne. Elle a été créée par le décret exécutif n°04-275 du 5 septembre 2004 autour d'Alger pour réduire la congestion et maîtriser

l'expansion urbaine, elle figure dans le SNAT comme un "centre urbain nouveau » pour Soulagger la ville-centre. (Mission B)



**Carte 02 : situation de VNSA par rapport à l'Algérie**

(Source : auteur)

Elle comprend la ville d'Alger elle-même limitée par Tipaza, Blida, Boumerdes et la mer Méditerranée au nord.

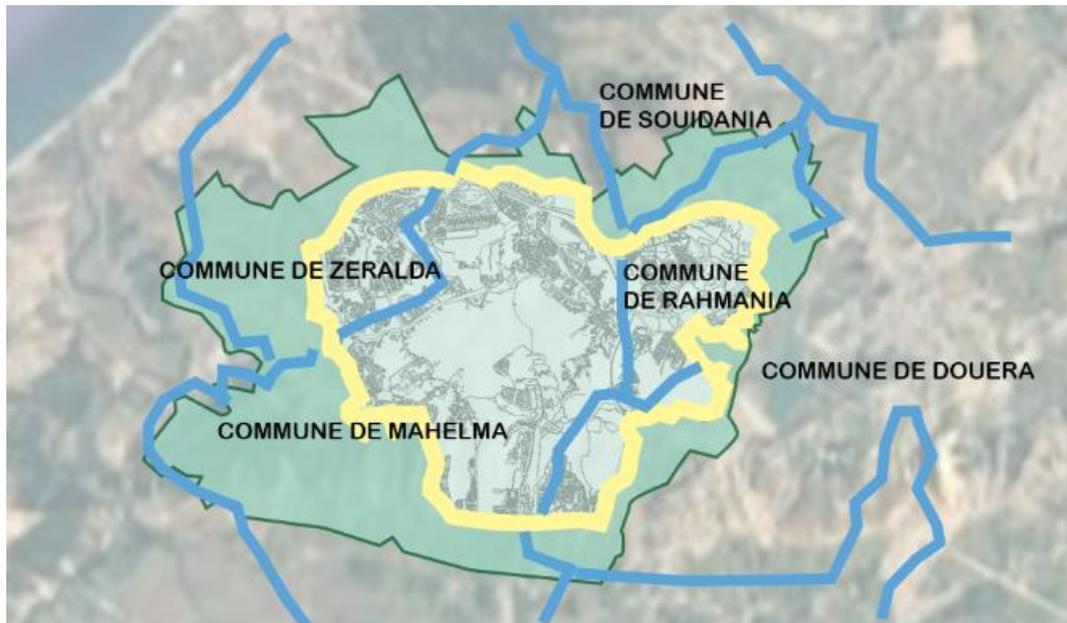


**Carte 03 : la Carte de situation de la ville de Sidi Abdellah par rapport à la métropole d'Alger**

(Source : auteur)

La ville de Sidi Abdellah est située à 25 Km au sud-ouest d'Alger avec un périmètre qui s'étend sur une superficie de 7000 Ha dont 4000 HA et le périmètre de protection et 3000 Ha urbanisables, englobant les communes de Mahelma, Rahmania et une partie des communes de Zéralda, Douéra et Souidania. (Mission B)

Le périmètre de protection a été créé pour prévenir les dangers d'un étalement urbain incontrôlé.



**Carte 4 : la Carte de situation de la ville de Sidi Abdallah par rapport aux communes**

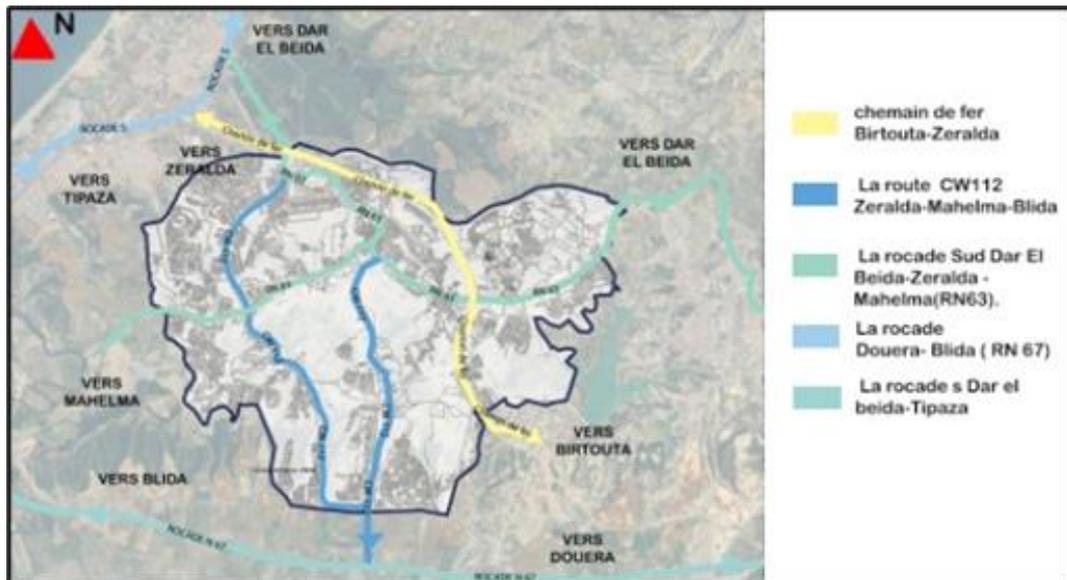
(Source : auteur)

#### 1-4-L'accessibilité :

La ville nouvelle de Sidi Abdallah bénéficie d'une excellente accessibilité, avec des connexions depuis Zeralda, Douera et Boufarik grâce à un réseau de voies de transport bien développé. Ces accès comprennent :

- ✚ La rocade Sud, qui repose Dar El Beida à Zeralda du côté est (RN63).
- ✚ La route dépendant de Zeralda, Mahelma, Sidi Abdallah, Boufarik et Blida au sud (CW112).
- ✚ La 2ème rocade Sud, qui repose Zeralda à Boudouaou au nord.
- ✚ De plus, il convient de délimiter la ligne de chemin de fer Zeralda-Birtouta, qui traverse le centre de Sidi Abdallah.

Ces liaisons routières et ferroviaires offrent une excellente accessibilité à la ville nouvelle depuis plusieurs directions, facilitant ainsi la mobilité des résidents et des visiteurs. (Mission B)



**Carte 05 : l'accessibilité à la ville de Sidi Abdellah**

(Source : auteur)

## 2-Analyse de la ville nouvelle de Sidi Abdellah :

### 2-1-Programme globale de la ville nouvelle :

**Tableau 6 : les vocations de Adi Abdellah**

Source : (Mission B)

Fonctions de base	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Technologies avancées</li> <li>· Formation &amp; recherche universitaire</li> <li>· Fonctions de soutien</li> </ul>
Programme général	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Espaces d'habitat</li> <li>· Equipements administratifs</li> <li>· Cité des TIC(Cyberparc)</li> <li>· Parc urbain</li> <li>· Instituts universitaires</li> <li>· Centres de recherche et de développement</li> <li>· Zones d'activités</li> <li>· Equipements hospitaliers &amp; de santé</li> <li>· Equipements commerciaux, hôteliers et de services</li> </ul>

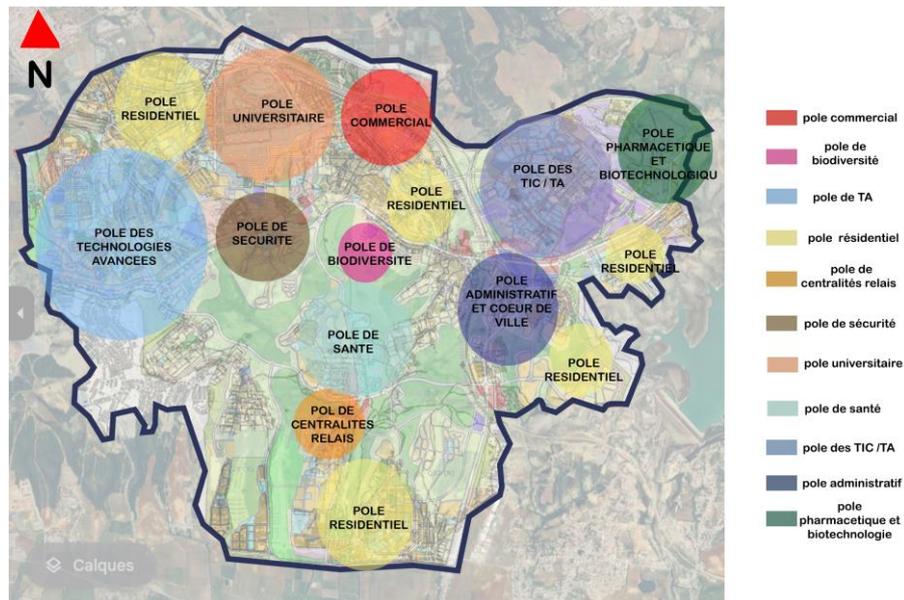
	<ul style="list-style-type: none"><li>· Réseaux publics d'infrastructures de base (énergies et eau, télécom, routes et rail)</li><li>· Equipements publics d'accompagnement (services urbains, services de proximité)</li><li>· Infrastructures de traitement des déchets et des eaux usées</li><li>· Espaces de protection autour de la ville (usages fixés par le plan d'aménagement). (Mission B, pas de date))</li></ul>
--	--

## 2-2-Analyse de master plan de VNSA :

Selon le plan d'aménagement 2014, la ville de sidi Abdellah est caractérisée par une multifonctionnalité et un équilibre des fonctions urbains : technologie, habitat, santé, commerce, agriculture, industrie, enseignement...etc. (Mission B)

Elle contient :

- Un pôle commercial.
- Un pôle de biodiversité.
- Un pôle des technologies avancée.
- Des pôles résidentiels.
- Un pôle des centralités relais.
- Un pôle de sécurité.
- Un pôle universitaire.
- Un pôle de santé.
- Un pôle des TIC/TA.
- Un pôle administratif.
- Un pôle pharmaceutique et de biotechnologie.



**Carte 06 : les pôles de la ville**

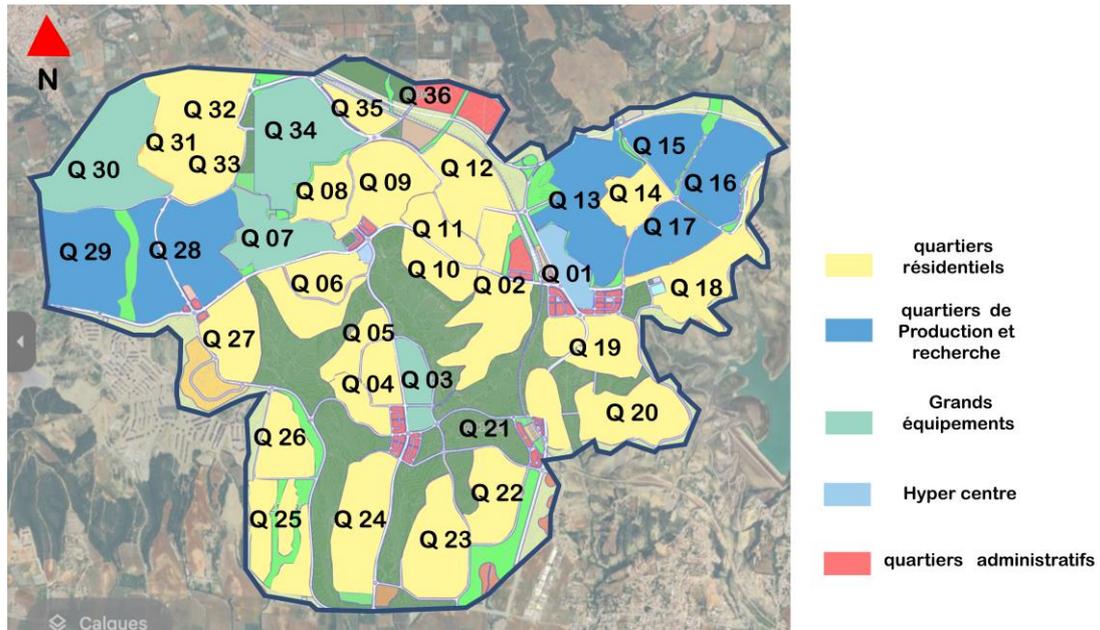
(Source : auteure)

Mais, après une visite au siège du département municipal et un entretien avec un employé (membre d'état) du bureau d'urbanisme, nous avons été informés que la priorité de la ville de Sidi Abdallah avait changé en raison du changement de ministère en charge, du ministère de l'Environnement et du Développement durable au Ministère de l'habitat et l'urbanisme.

La première priorité du ministère de l'Environnement et du Développement durable était de construire une ville où la priorité était donnée à la technologie, à l'économie et aux énergies renouvelables.

Après que le Ministère de l'habitat et l'urbanisme ait obtenu le projet, la priorité est devenue de construire le plus grand nombre de logements avec quelques équipements de proximité essentiels comme les hôpitaux, les écoles et les lycées...etc, pour résoudre la crise du logement en raison de la grande population concentrée dans la région de la métropole et pour couvrir ce grand nombre d'habitants après l'arrêt du projet de la ville de Boghzoul.

Cette priorité a changé en 2016, avec la suppression du pôle des technologies avancées, du Technoparc et de l'inoparc, et l'augmentation du périmètre de construction et du périmètre de protection pour l'ajout d'autres quartiers résidentiels. (Siège de la ville nouvelle de Sidi Abdallah, 2023)



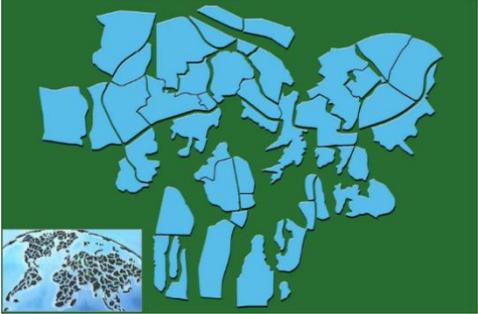
**Carte 07 : une ville résidentielle**

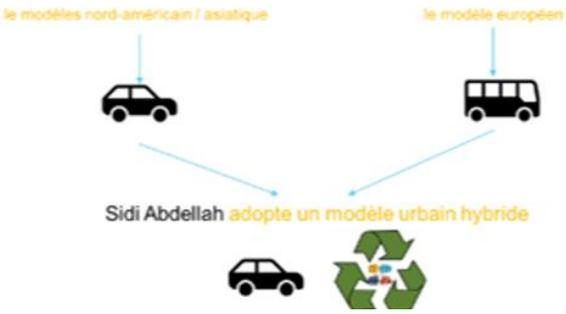
(Source : auteure)

**2-3- les concepts clés de la ville :**

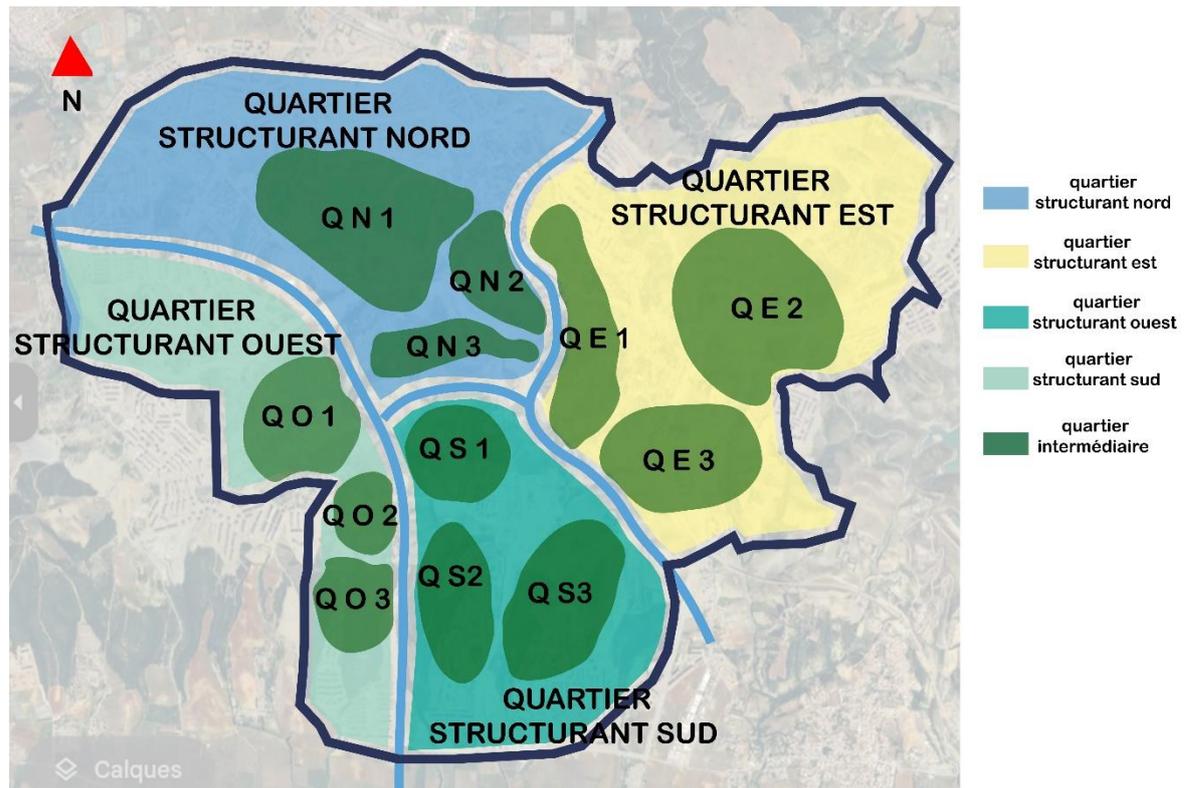
**Tableau 7 : les concepts de la ville de Sidi Abdellah**

(Source : auteure)

Le concept	Description du concept	Illustration
L'Archipel urbain :	C'est un concept qui cherche à créer une ville nouvelle en harmonie avec le paysage naturel, avec l'utilisation des espaces verts comme des éléments de cohésion urbaine, tout en développant de manière planifiée des quartiers, des équipements, et des zones d'activités pour dynamiser la ville tout en préservant	 <p data-bbox="868 1637 1276 1675"><b>Figure 56 : L'archipel urbain</b></p> <p data-bbox="948 1693 1197 1727">Source : mission B</p>

	<p>l'environnement. (Mission B)</p>	
<p>Le modèle hybride :</p>	<p>Il combine entre le modèle nord-américain et asiatique qui considère la voiture comme un élément centrale de la mobilité urbaine, et le modèle européen qui est privilégiée par les transports collectifs pour répondre aux besoins de déplacement en ville, pour créer un modèle unique, qui vise à offrir une diversité d'options de mobilité, en reconnaissant l'importance de la voiture tout en cherchant des solutions de transport collectif plus durable pour répondre aux besoins de mobilité urbaine. (Mission B)</p>	 <p><b>Figure 57 : Le modèle hybride</b></p> <p>Source : mission B</p>

## 2-4-La hiérarchisation de la ville :



Carte 08 : la hiérarchisation de la ville de Sidi Abdellah

(Source : auteure)

L'urbanisme de la ville de Sidi Abdallah est réalisé selon plusieurs échelles, qui sont les suivantes : (Mission B)

- ✚ **L'échelle de l'ensemble urbain** : à savoir l'ensemble du périmètre d'urbanisation, dans lequel sont englobés des quartiers, des fonctions, des équipements. Les infrastructures et les réseaux du plan d'aménagement, tels des voies principales et secondaires et des réseaux techniques, sont conçus et organisés à cette échelle pour garantir la cohérence et la connectivité du territoire.
- ✚ **Quartiers structurants** : La ville nouvelle est subdivisée en 4 quartiers structurants, répartis autour de 5 centralités relais. Les centralités-relais sont constituées de commerces, de services et d'autres fonctions tertiaires. La distribution en quartiers intègre le milieu naturel, en particulier la topologie et les vallées, ainsi que les villages existants, en respectant la logique du territoire existant.

Chaque quartier structurant a ses caractéristiques et ses fonctions propres :

- Le quartier structurant est : mixité de fonctions, incluant l'habitat, le tertiaire/commerce, l'administration, le Cyber parc, le CATICTA et la production pharmaceutique.
- Le quartier structurant ouest : parc d'attraction et de loisir, d'habitations collectifs et complexe hydraulique du sahel.
- Le quartier structurant Sud : associé au Parc central, il accueille des équipements de premier rang, tels le Parc à thème et le Pôle santé, créant des synergies entre habitat, santé et loisirs.
- Le quartier structurant nord : regroupe des polarités urbaines majeures, dont le Pôle universitaire, le Parc de sports et une zone commerciale longeant le périphérique nord.

#### ✚ Quartier de proximité et quartier de voisinage :

Les quartiers intermédiaires sont divisés en 3 quartiers, chacun pouvant comprendre plusieurs quartiers de proximité par la suite. Cela rassemble généralement environ 20-30 000 personnes différentes et, pour certaines, tournera autour d'une centralité-relais à la fois.

L'unité de voisinage se situe au sein des quartiers de proximité. (Établissement public pour l'aménagement de la ville nouvelle de Sidi Abdellah, 2004)

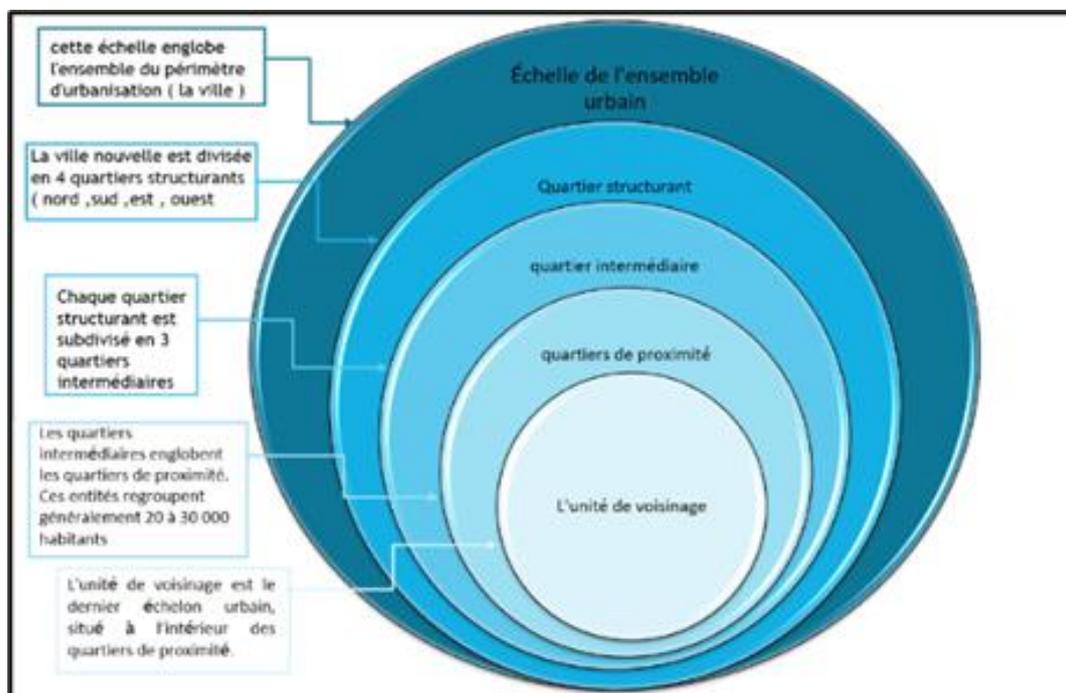


Figure 58 : schématisation de la hiérarchisation de la ville

Source : auteure

### 3-Analyse environnementale :

#### 3-1-Le Climat et les précipitations :

La région de Sidi Abdellah se caractérise par un climat méditerranéen subhumide. La station d'observation climatologique « Mahelma-ferme » (code 02-05-11, altitude 145 m, coordonnées X : 517.0, Y= 376.85 et Z : 150) possède ainsi des données sur la précipitation, les températures et les vents. (Mission B)

#### 3-2- La température :

La température moyenne maximale annuelle atteint 17,2°C, avec des pointes à 29°C en août et des creux à 11,5°C en hiver. Les températures saisonnières avoisinent les 20°C en été et descendent à 10°C en hiver. L'été est généralement chaud, particulièrement de la mi-juillet à la mi-août. (Mission B)

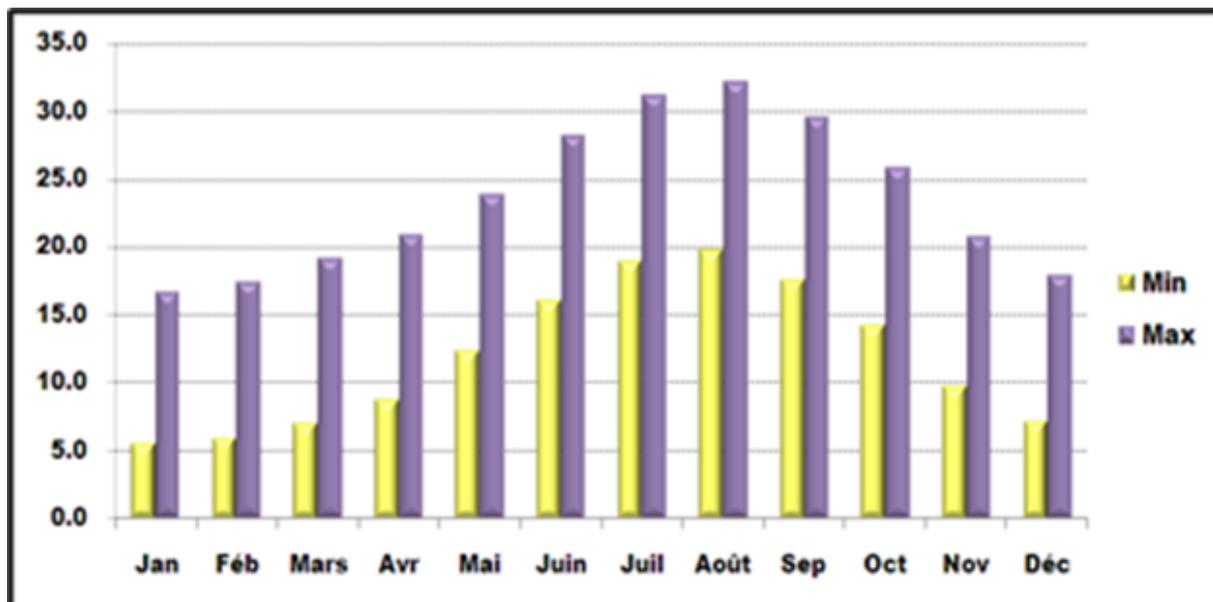
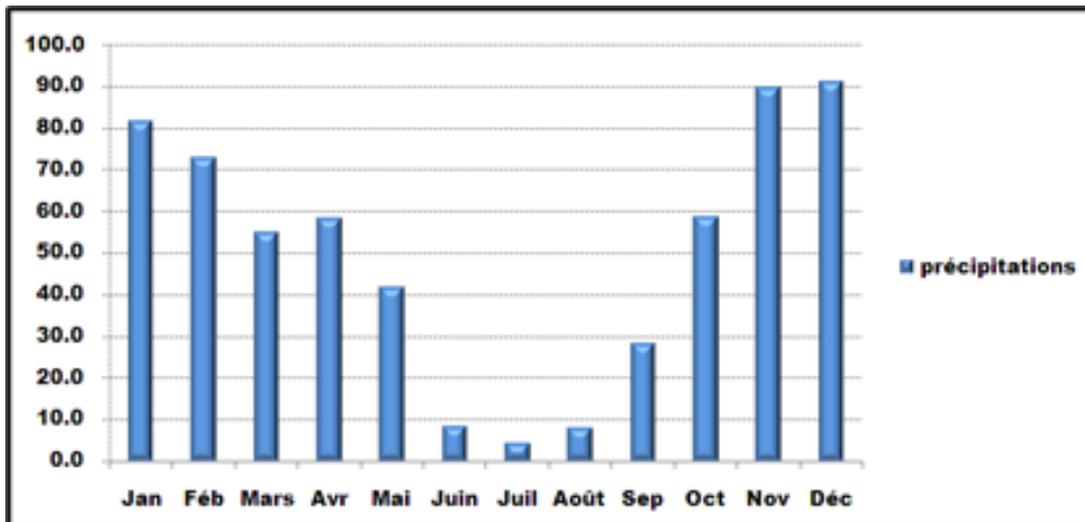


Figure 59 : Températures moyennes

Source : (Mission B)

#### 3-3-La précipitations :

D'après le régime mensuel des précipitations, toutes les saisons sont susceptibles de recevoir de la pluie, toutefois les mois d'octobre, novembre, décembre et janvier sont les plus humides. L'hiver est la saison la plus pluvieuse avec au-delà de 40% du total des précipitations, et l'été est sec avec une proportion de 4% de celles-ci. La moyenne interannuelle des précipitations est de l'ordre de 60 mm avec un total de jour de pluie par an de 80 jours. (Mission B)

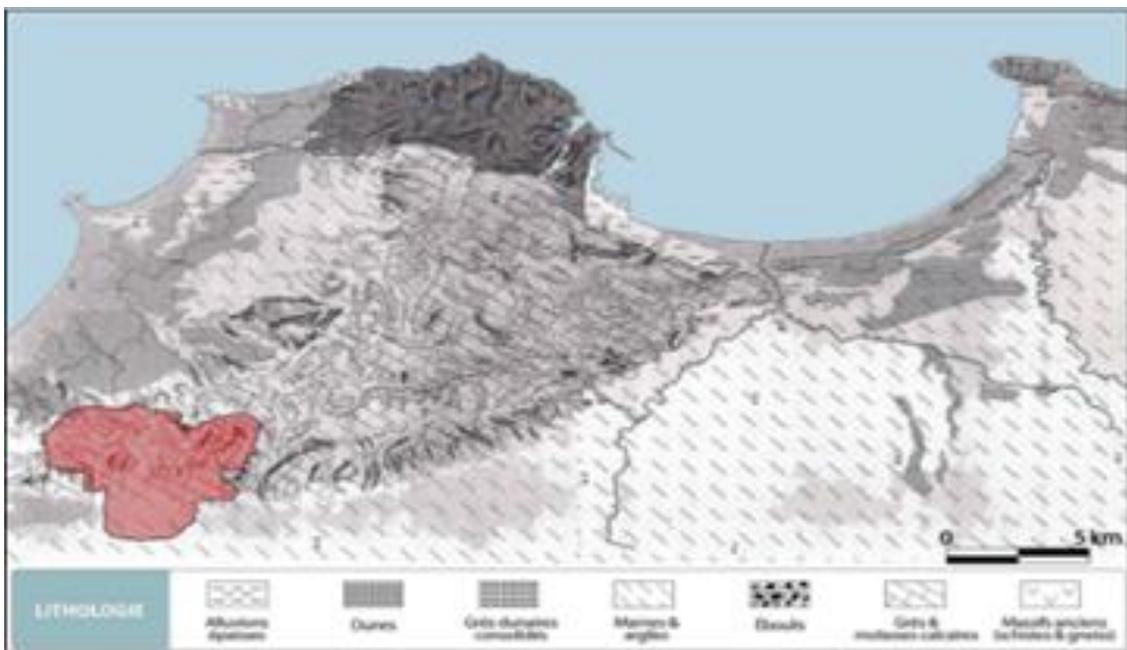


**Figure 60 : Nombre et répartition des jours de pluie**

Source : (Mission B)

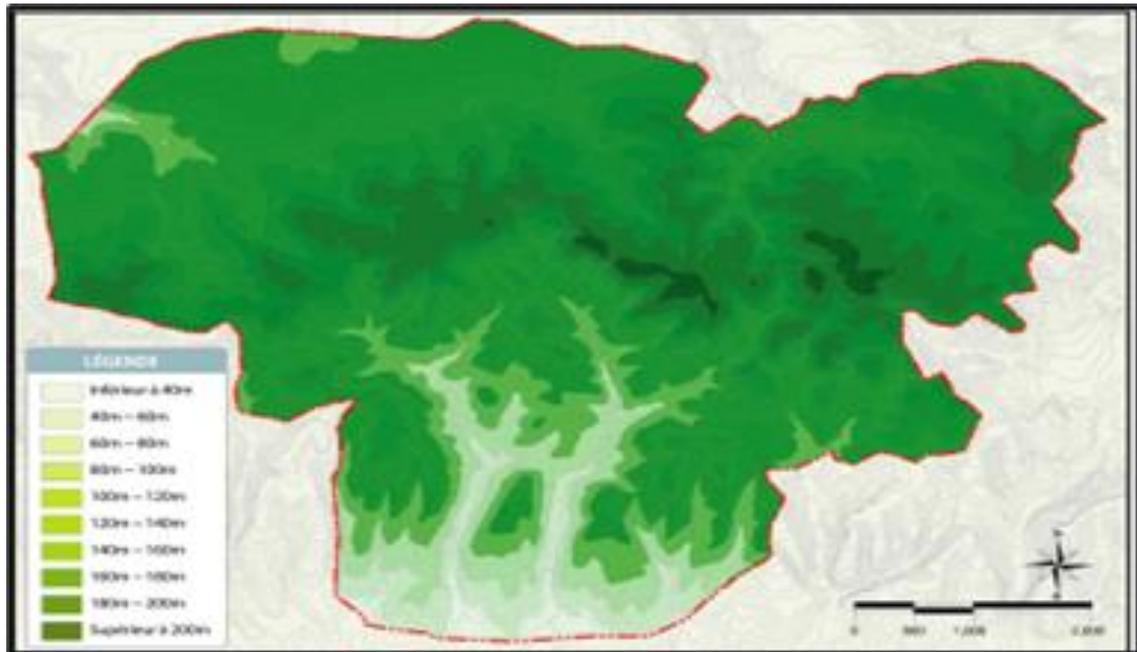
**3-4-Topographie :**

Les niveaux varient entre 38 et 210 m. 81,19% des terrains sont situés entre 100 et 200 m. Le centre du territoire présente des reliefs importants. Le sud et le nord du site sont traversés par de larges oueds induisant des connexions inter-quartiers difficiles. (Mission B)



**Figure 61 : Carte des reliefs**

Source : (Mission B)



**Figure 62 : Répartition des pentes**

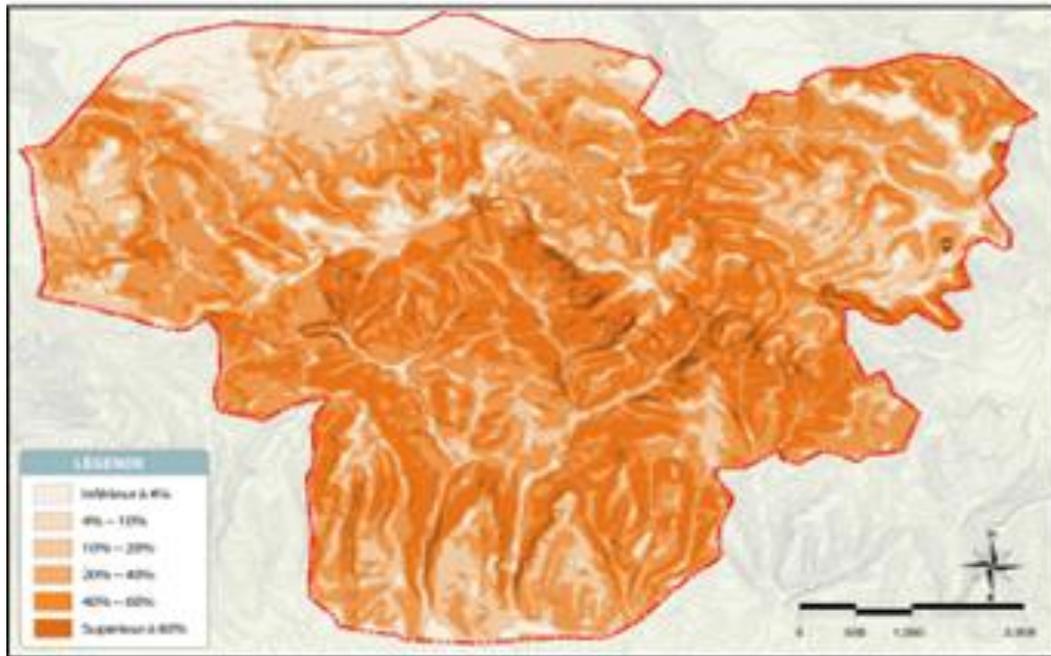
Source : (Mission B)

### **3-5-Déclivités :**

Les collines du centre et les fortes pentes des versants des vallées situées au sud constituent les principales contraintes d'aménagement, (Mission B)

### **3-6-Géologie & géotechnique :**

Les terrains de Sidi Abdellah sont caractérisés par un sol sableux rougeâtre, composé d'argile marneuse ou de grès. Cette formation, recouverte d'une couche de terre végétale de moins d'un mètre d'épaisseur, présente deux particularités physiques et mécaniques. (Mission B)



**Figure 63 : Carte géologique régionale**

Source : (Mission B)

### 3-7-Sismicité :

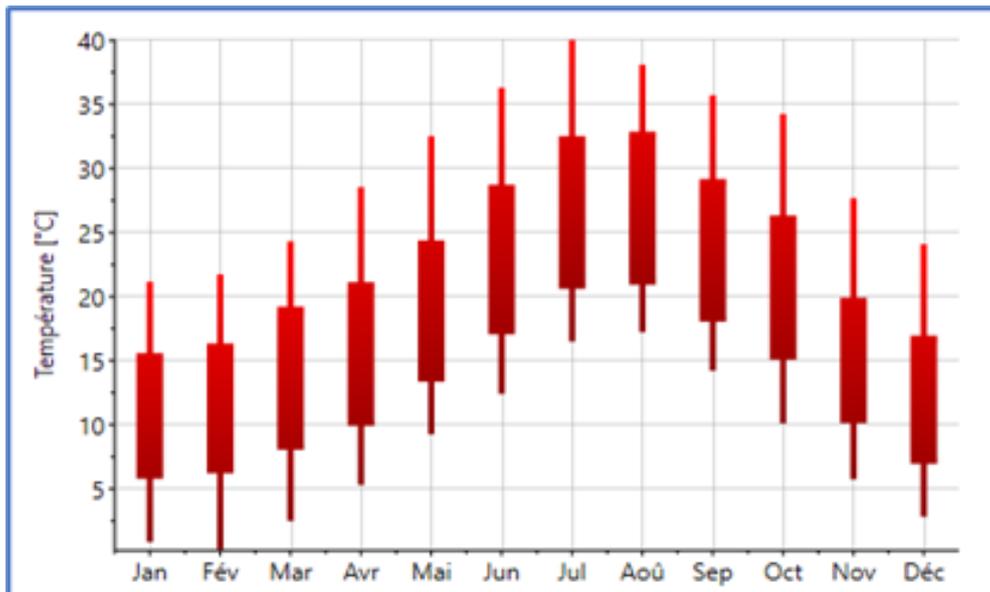
La ville nouvelle de Sidi Abdellah se trouve dans en zone III (sismicité élevée) selon le classement de RPA, ce classement il est établie par le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG). La présence d'une faille au niveau du Sahel de plus de 90 km le long de l'axe Alger-Douera-Benchâabane dans la carte de l'activité tectonique, la zone entre Douera et Benchâabane reprrisente la partie sismique active, mais l'épicentre est relativement éloigné.

Cette ville peut être exposé à d'autres dangers potentiels, tels que :la liquéfaction des sables, glissement des talus argileux ou l'apparition de failles en surface. (Mission B)

### 4-Analyse climatique :

#### 4-1-la température :

La période la plus chaude est dans les mois de juin jusqu'à septembre (elle peut atteindre jusqu'à 32 C°) et la période la plus froides est décembre janvier, février (la température basse peut atteindre jusqu'à 6C°). (Mission B)



**Figure 64 : La Température de la ville de Sidi Abdellah**

Source : (métronome, 2013)

#### **4-2-la Précipitation :**

La période ou la fréquence des précipitations est très peu dans les mois de juin, juillet et août (elle peut atteindre jusqu'à 5mm) et les mois les plus fréquents sont décembre, janvier, février, novembre (elle peut atteindre jusqu'à 110 mm). (Mission B)

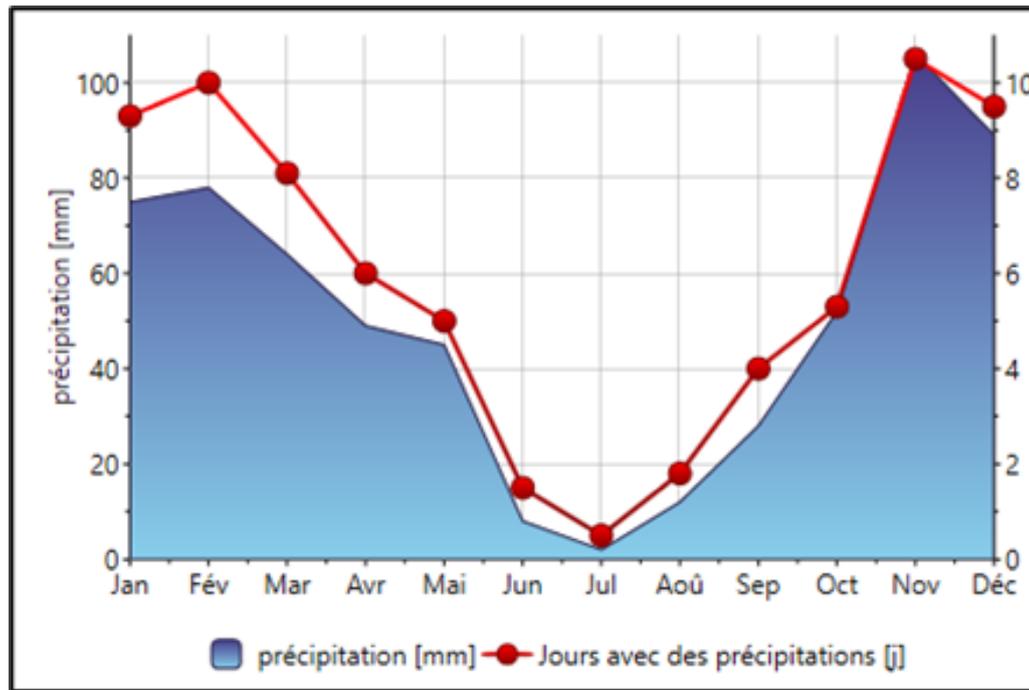


Figure 65 : Précipitation de ville de Sidi Abdellah

Source : (métronome, 2013)

4-3-la vitesse du vent :

Le vent est très élevé pendant toute l'année et surtout dans la période d'hiver ou elle atteint 35mph (mille par heure). (méteonorme, 2013)

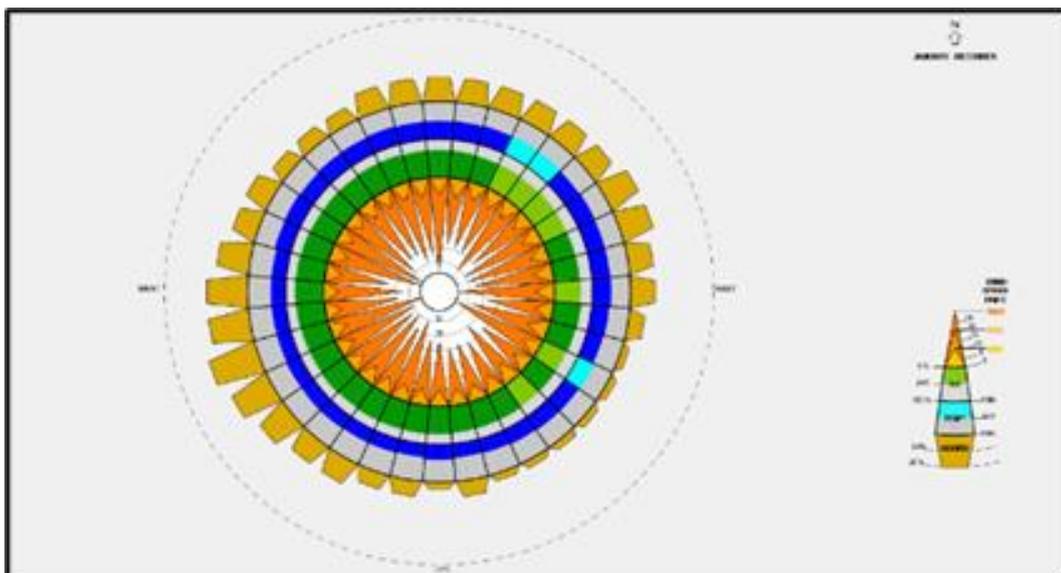
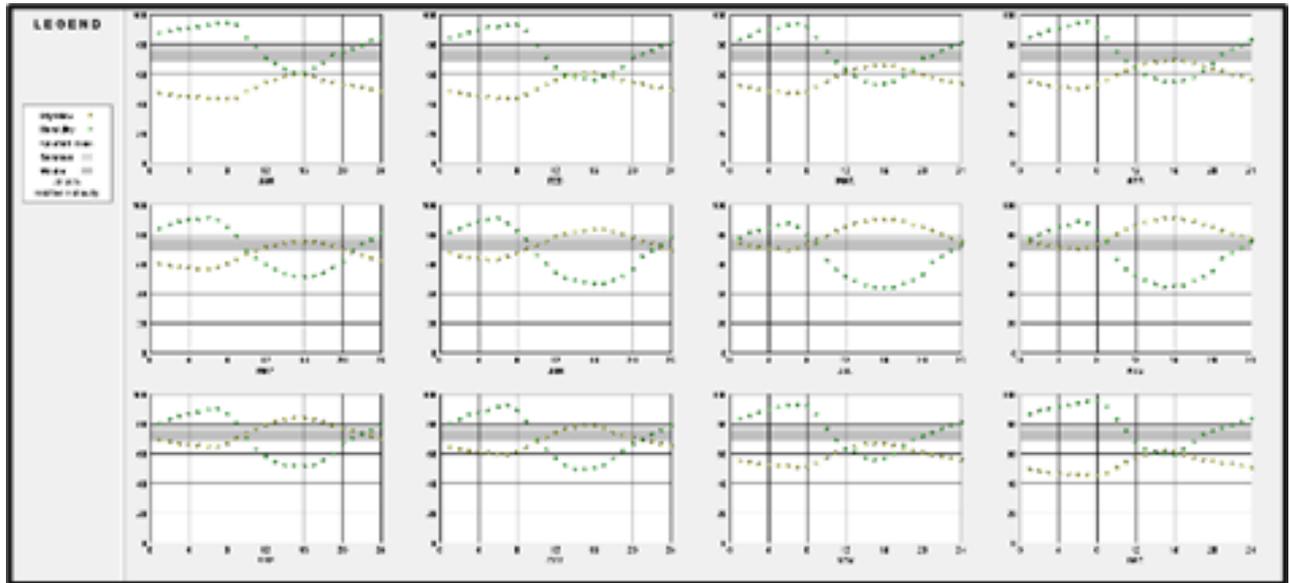


Figure 66 : Rose de vents de la ville de Sidi Abdellah

Source : (méteonorme, 2013)

**4-4-L'humidité :**

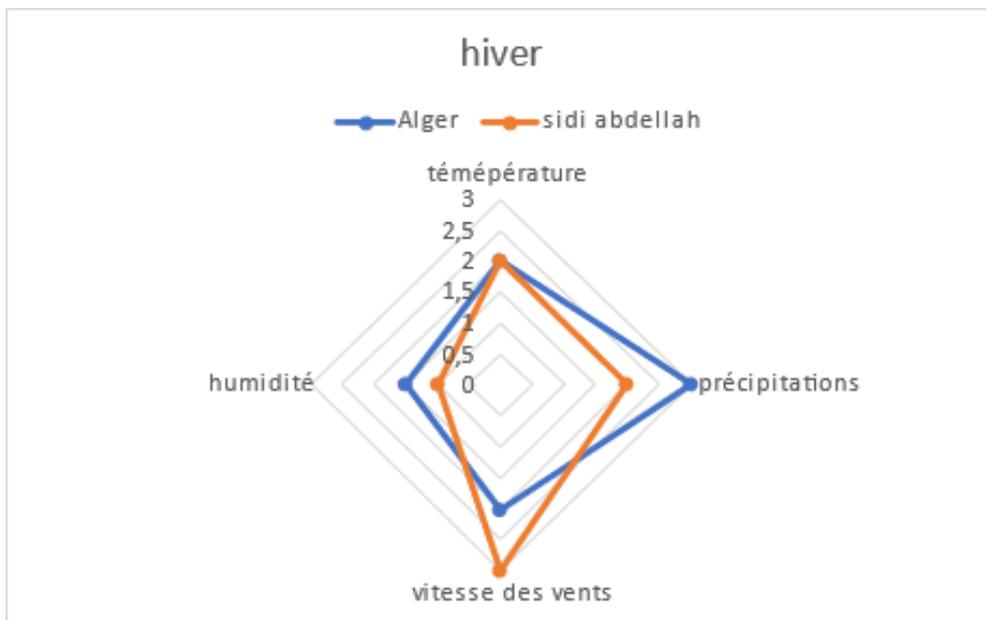
Le niveau d'humidité moyen est plutôt élevé, atteignant 74,6 %. (Mission B)



**Figure 67 : L'humidité de la ville de Sidi Abdallah**

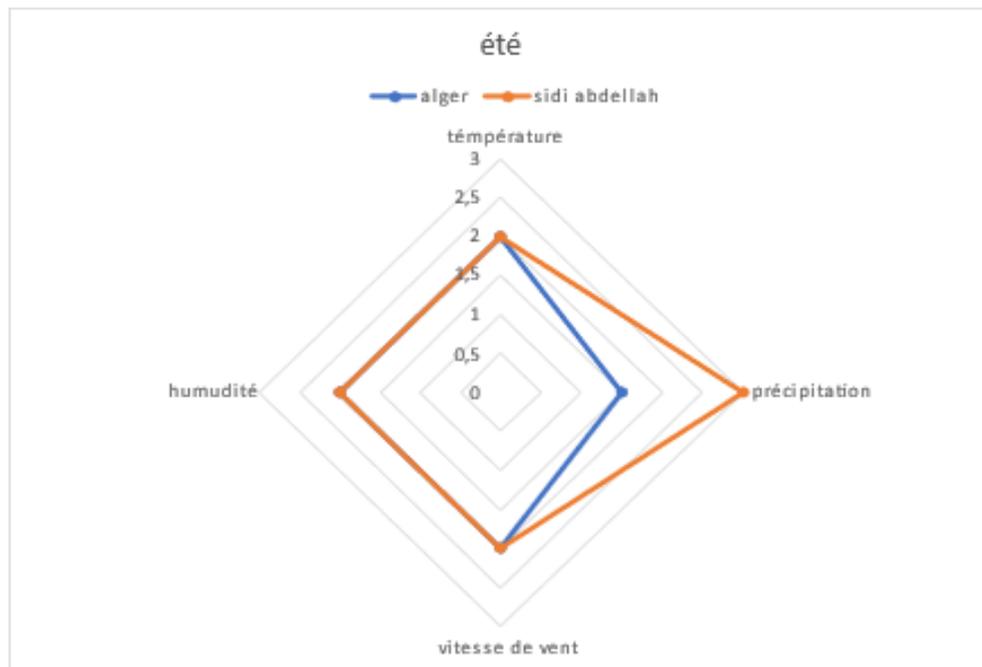
Source : (métronome, 2013)

4-5-Diagramme radar climatique de Sidi Abdallah :



**Figure 68 : Diagramme radar climatique de Sidi Abdallah en hiver**

Source : auteure



**Figure 69 : Diagramme radar climatique de Sidi Abdellah en été**

Source : auteure

Synthèse : la ville de Sidi Abdellah se distingue par un climat méditerranéen modéré avec un hiver doux et humide, ainsi qu'un été chaud et sec.

## 5-Présentation de l'aire d'intervention :

### 5-1 Cyber parc :

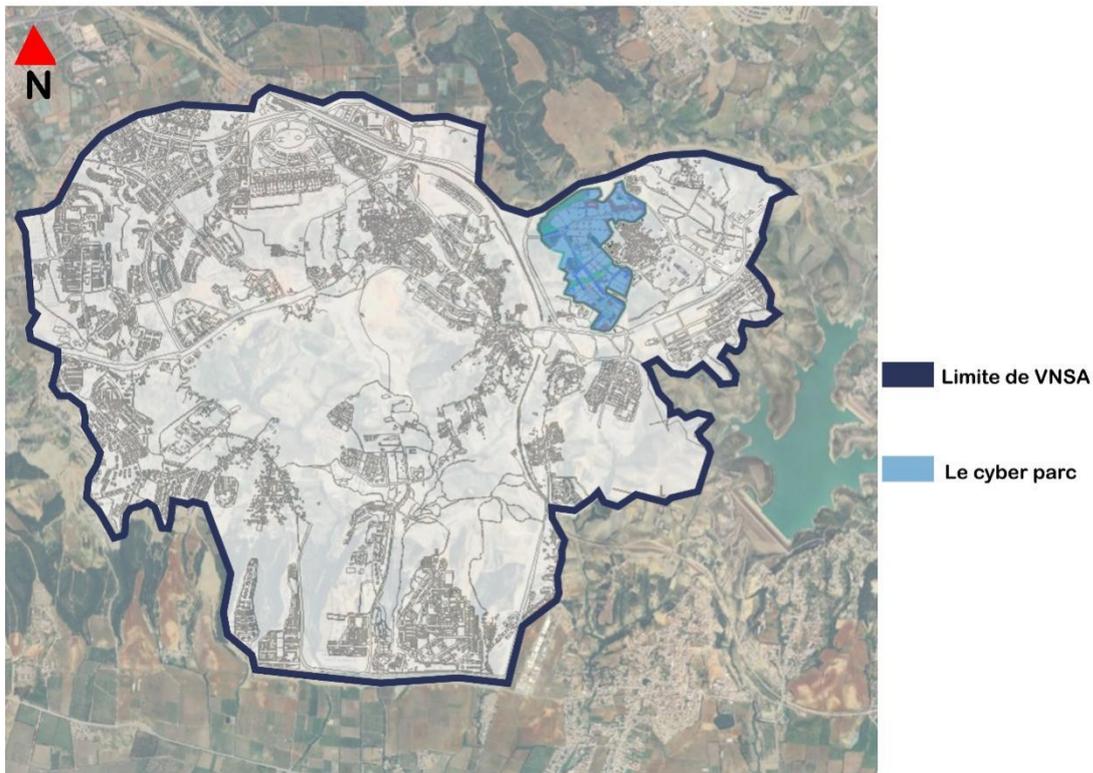
Le Cyber parc d'Alger est un parc technologique concurrentiel de classe mondiale qui offrira une infrastructure de pointe et de services aux institutions et entreprises TIC.

La création d'un parc technologique à Alger s'inscrit dans le cadre de la stratégie nationale pour édifier une société de l'information et accélérer la transition de l'Algérie vers une économie du savoir.

Cette cité vise notamment à promouvoir un pôle de formation et de recherche, une industrie nationale dans le secteur des technologies de l'information et de la communication, ainsi que la création de nouvelles activités économiques. (Mission B)

### 5-2 Situation du cyber parc :

- le cyber parc se situe au nord-est de la ville nouvelle de sidi Abdellah, dans la commune de Rahmania, il est en contact direct avec le cœur de la ville, sa superficie est de  $S=110955m^2$ . (Mission B)



**Carte 09 : situation du cyber parc**

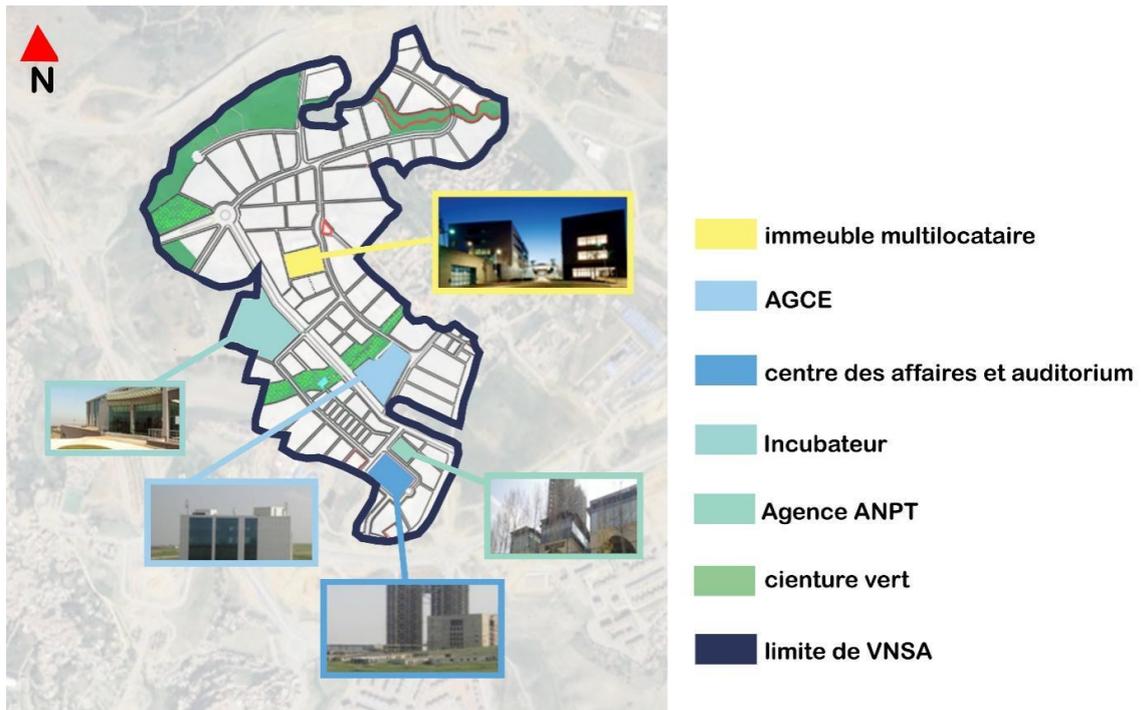
Source : auteur

### **5-3-les bâtiments existents et futures :**

Les fonctions principales du Cyber parc sont la recherche et le développement des TIC, l'enseignement, le transfert de technologies et la promotion des entreprises, Il contient actuellement le siège de l'ANPT<sup>15</sup> et un immeuble multi-locataire et un immeuble incubateur. (Mission B)

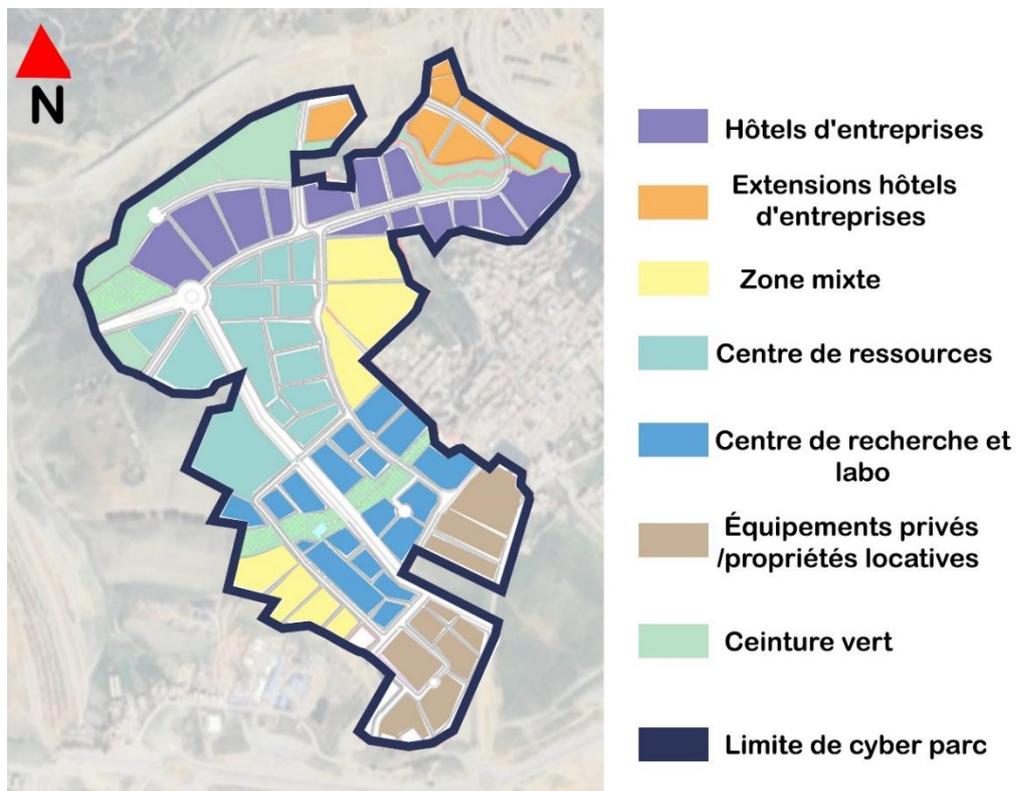
---

<sup>15</sup> Agence Nationale de Promotion & de Développement des Parcs Technologiques ANPT



Carte 10 : les bâtiments existants

Source : auteure



Carte 11 : les bâtiments futurs

Source : auteure

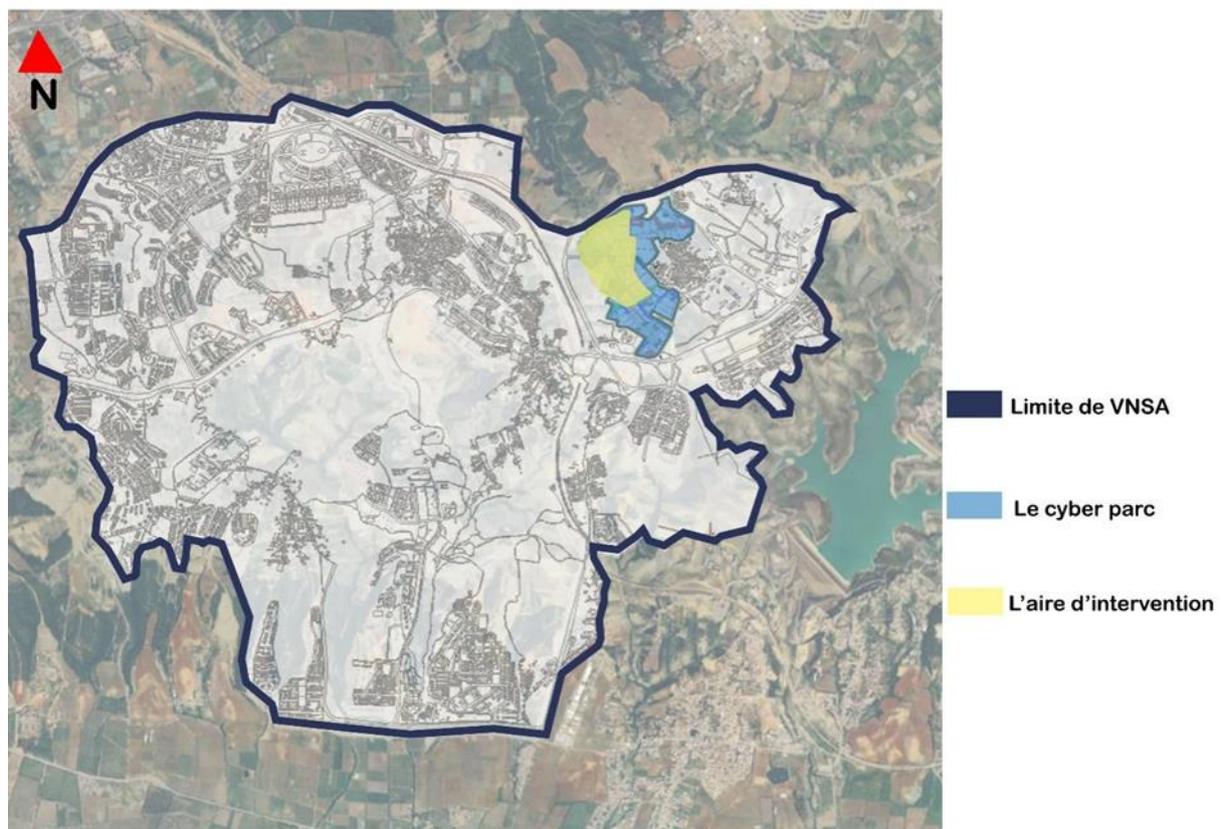
## 6- Analyse de l'aire d'intervention :

### 6-1-Les critères de choix :

- ✓ L'ensoleillement et la vitesse du vents est importante (l'énergie solaire et éolienne qui constituent des sources d'Energies renouvelables à Intégrer dans notre démarche)
- ✓ L'Aire d'intervention est dans le cyber parc de Sidi Abdallah, qui est un projet d'envergure nationale qui comprend un environnement d'affaires compétitif de niveau international, des bureaux, des espaces commerciaux prestigieux et de services d'affaires spécialisés de haute qualité qui va contribue à l'évolution économique de la ville et de la métropole d'Alger

### 6-2-situation de l'aire d'intervention :

Notre aire d'intervention se situe à l'intérieur du cyber parc dans la zone nord-ouest d'une surface de : 36,328 ha



**Carte 12 : situation de l'aire d'intervention**

Source : auteur

Elle est limitée :

- Au nord et sud par une ceinture verte (Zone non aedificandi)<sup>16</sup>. (Mission B, pas de date)
- À l'ouest par les limites du cyber parc
- À l'est par une voie secondaire



**Carte 13 : limitation d'aire d'intervention**

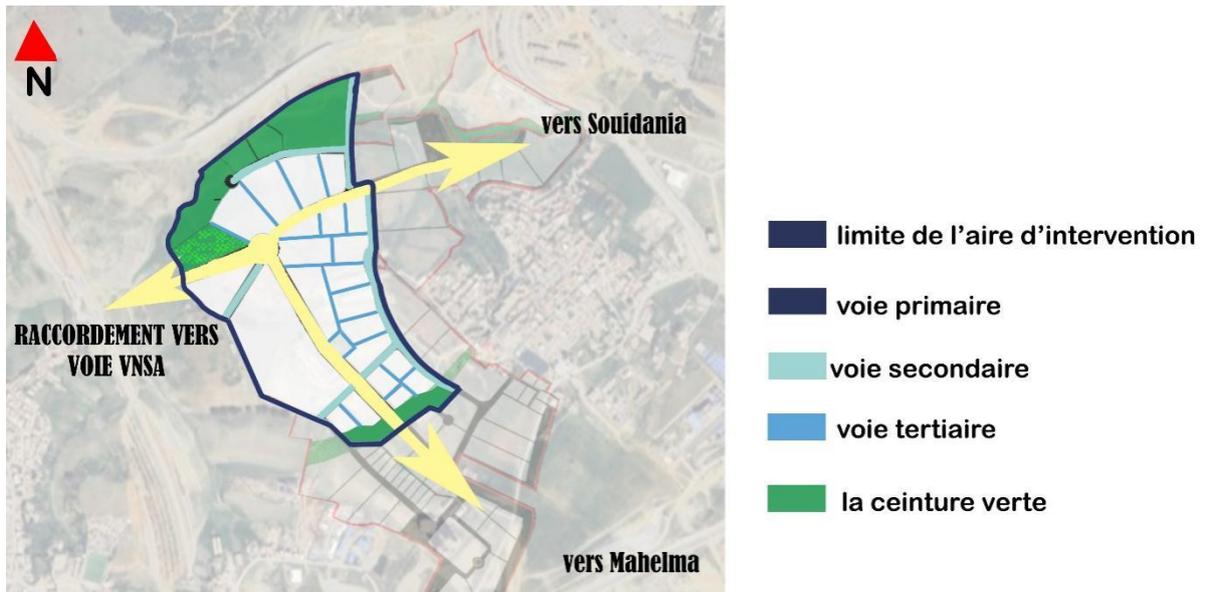
Source : auteure

### **6-3-Analyse de système viaire :**

La hiérarchisation des voiries prend en compte les contraintes physiques et naturelles du site. Le réseau de routier est organisé au 4 catégories distinctes et clairement hiérarchisées et définies, assurant l'efficacité du maillage et la répartition équilibrée des flux, allant de la voie principale (13 m), passant par des voies secondaires (10 m) jusqu'à la voie tertiaire (9m -6 m). (Mission B)

---

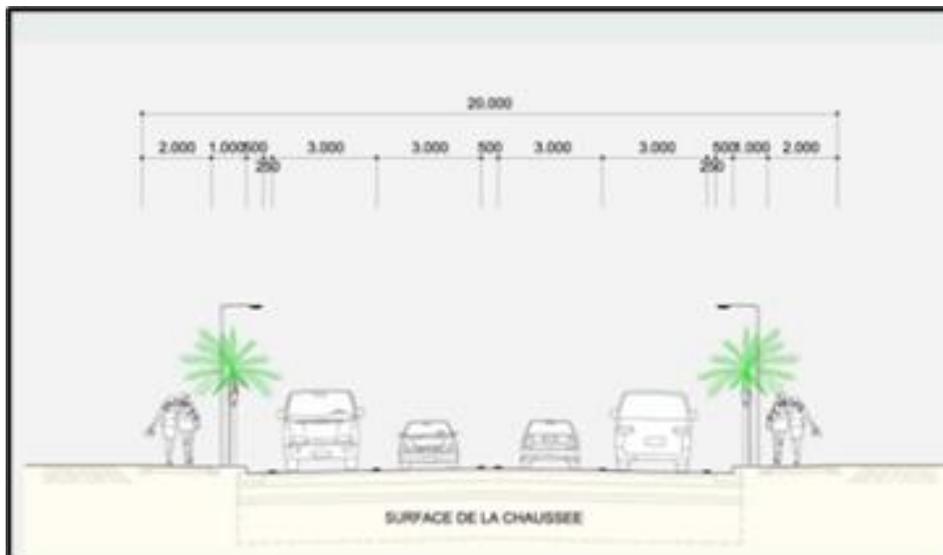
<sup>16</sup>Zone non aedificandi : C'est un terme latin qui désigne une zone géographique où la construction de bâtiments et d'infrastructures est interdite.



**Carte 14 : système viaire**

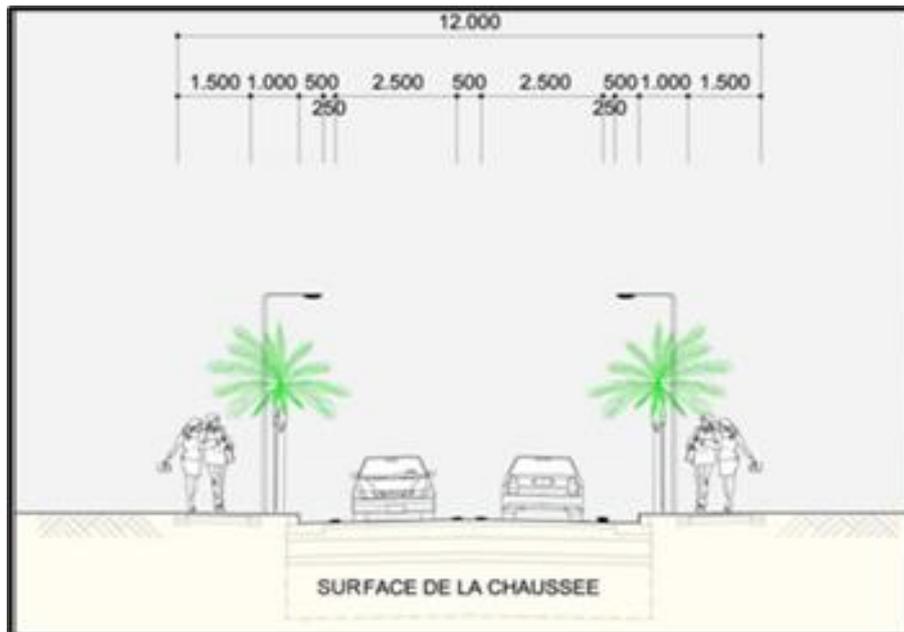
Source : auteure

Voici la schématisation des voies qui existe dans l'aire d'intervention :



**Figure 70 : schématisation des voies principale**

Source : (Mission B)

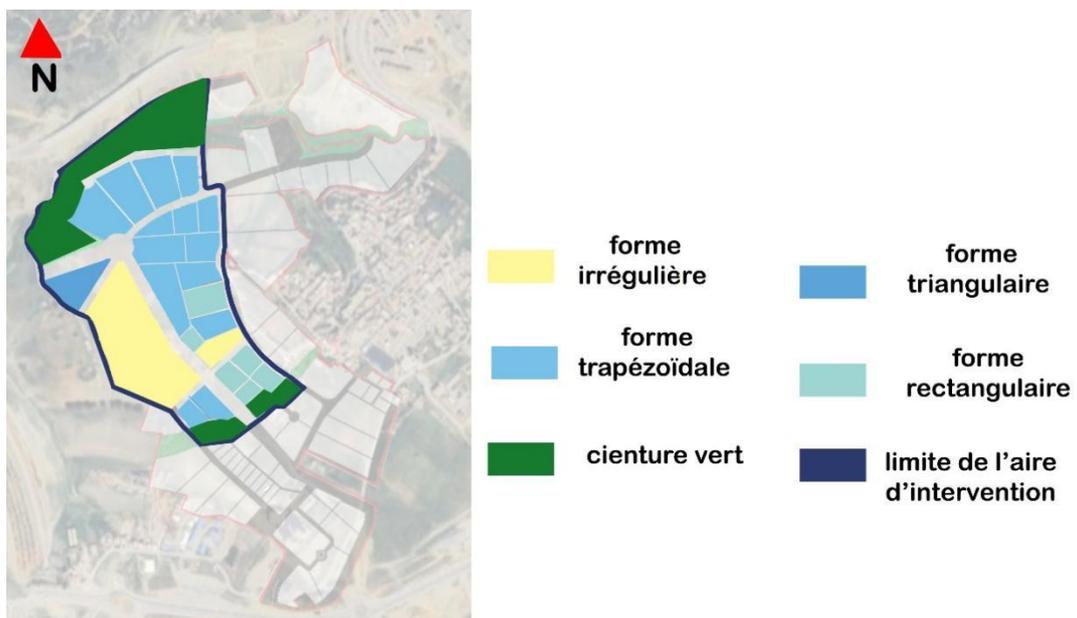


**Figure 71 : schématisation des voies secondaires**

Source : (Mission B)

**6-4-Analyse de système parcellaire :**

On remarque une présence de 4 formes de parcelles : forme rectangulaire, forme irrégulière, forme triangulaire, forme trapézoïdale



**Carte 15 : système parcellaire**

Source : auteure

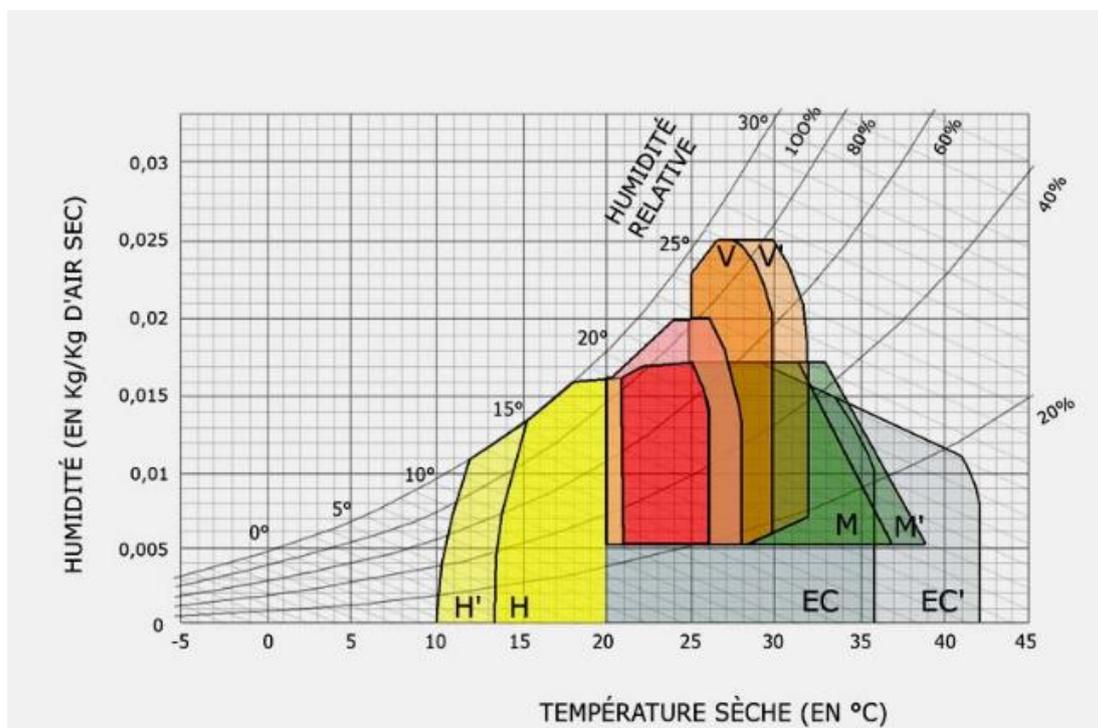
## 7-analyse énergétique :

### 7-1-Diagramme de Szokolay :

L'analyse énergétique a été réalisée à l'aide du diagramme de Szokolay.

Le diagramme de Szokolay est un outil utilisé en architecture bioclimatique, il nous permet de connaître les décisions sur les stratégies de conception d'un projet en fonction des conditions climatiques locales, et de créer un environnement intérieure confortable, il contient 5 zones sont (Jean-Louis IZARD Olivier KAÇALA, 2006) :

- ✚ La zone du confort thermique (rouge et rose),
- ✚ La zone d'influence de la ventilation à 0,5m/s (VV' orangé),
- ✚ L'inertie thermique (MM' vert),
- ✚ La zone d'influence du refroidissement évaporatif (EC et EC' gris),
- ✚ La zone de non-chauffage par la conception solaire passive (H et H' jaune).



**Figure 72 : Diagramme bioclimatique de Szokolay**

(Jean-Louis IZARD Olivier KAÇALA, 2006)

7-2- analyse énergétique de l'aire d'intervention :

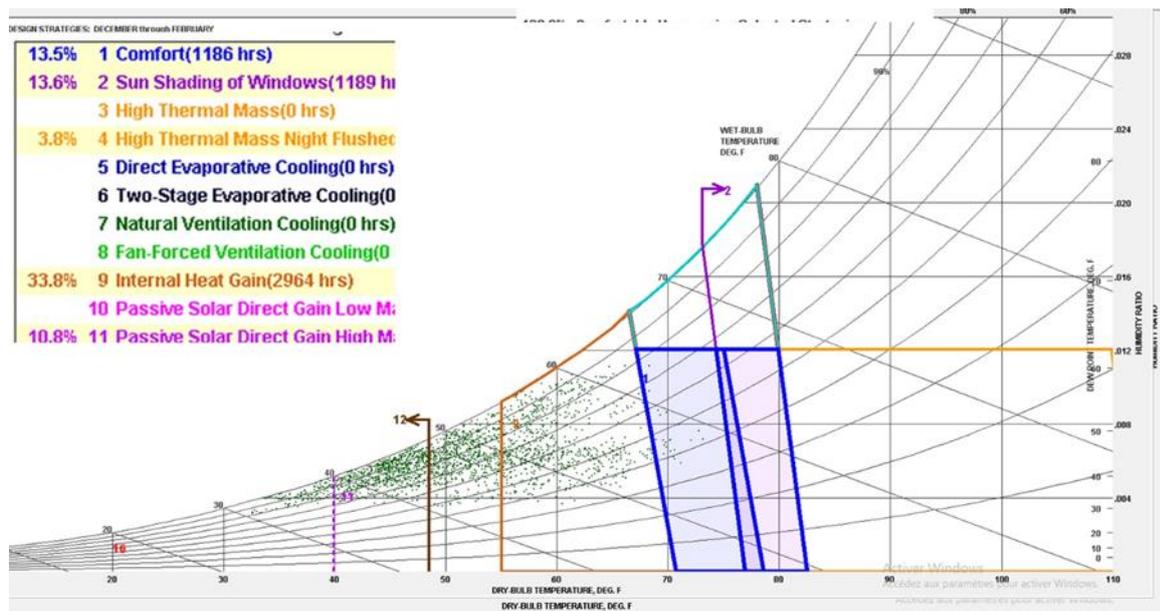


Figure 73 : Le diagramme de de Szokolay (hiver)

Source : (climate consultant)

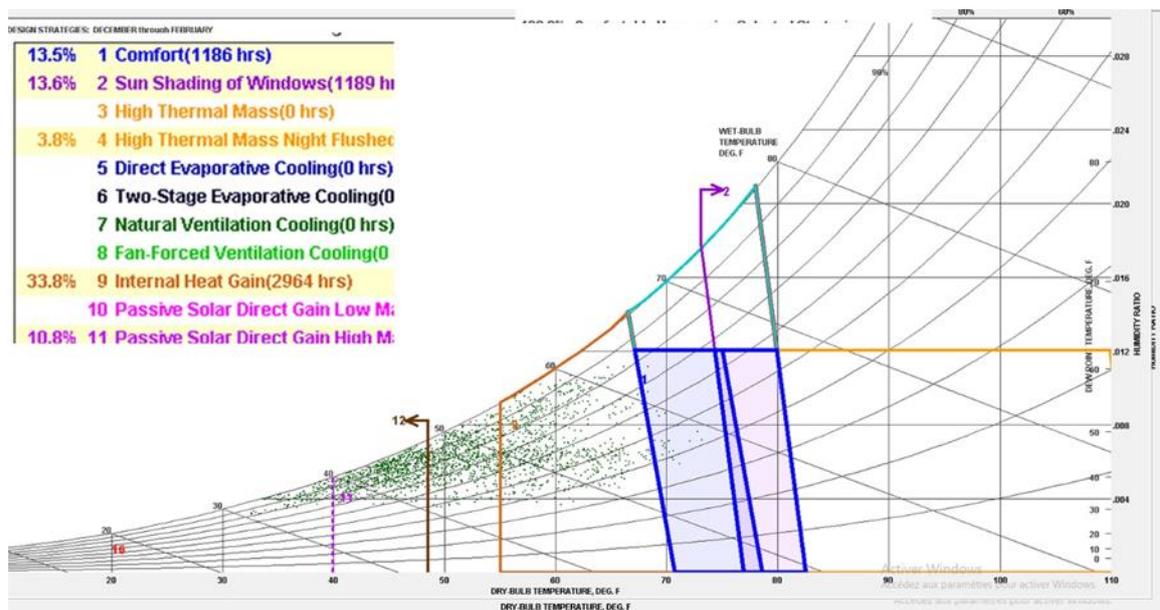


Figure 74 : Le diagramme de de Szokolay (été)

Source : (climate consultant)

- Pendant les 3 mois d'hiver (décembre, janvier, février), les techniques passives ne fournissent que 37% de confort. Pour atteindre un confort total de 100%, il est

nécessaire d'utiliser 63% de solutions actives, en particulier un système de chauffage qui fournit 1350 heures de chauffage.

- Pendant les 3 mois d'été (juin, juillet, août), les techniques actives le (refroidissement) ne fournissent que 35% de confort. Pour atteindre un confort total de 100%, il est nécessaire d'utiliser 63% de solutions passives.

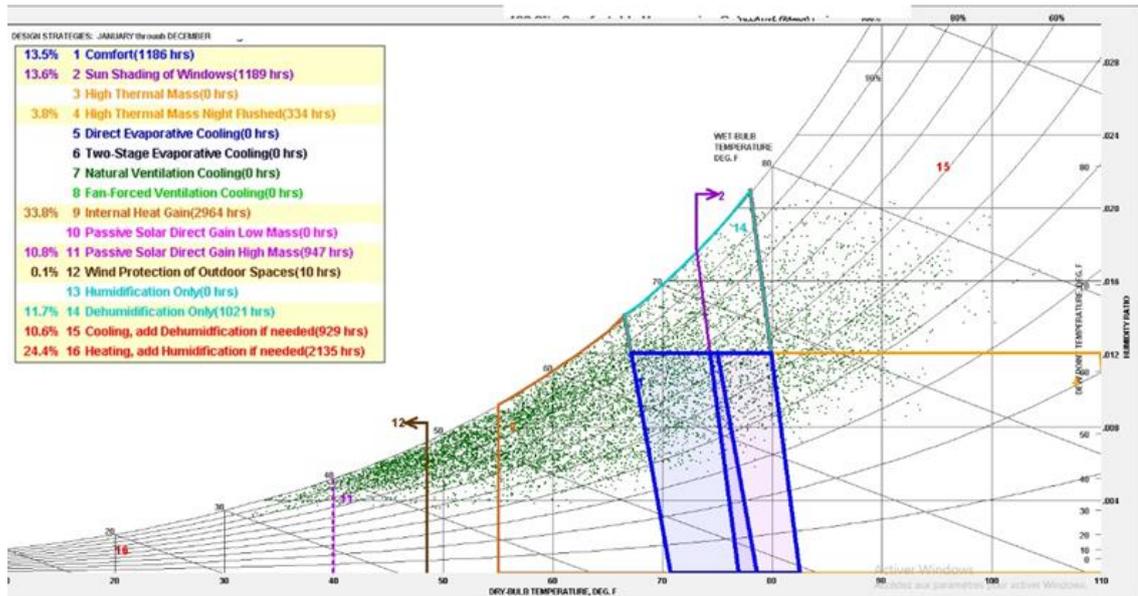


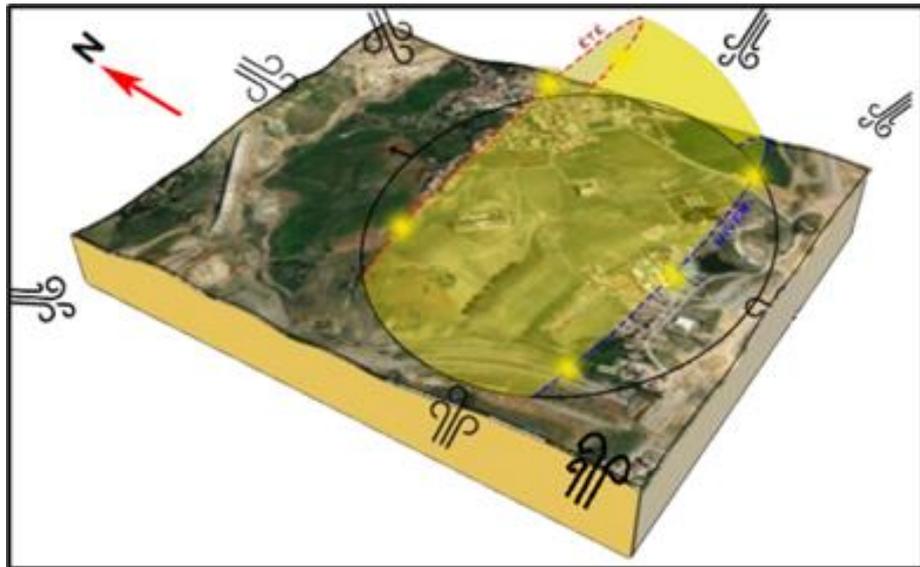
Figure 75 : Le diagramme de de Szokolay (les 4 saisons)

Source : (climate consultant)

Synthèse : Pour assurer le confort, on utilise des technique passive (qui sont : 0,5 % Protection contre le vent des espaces extérieurs, 19,8%, masse solaire passive de gain direct faible ,31,3% Gain de chaleur interne) durant toute l'année mais en hiver on doit les renfoncer par des technique actives, les techniques passives

### 7-3- Les gisements des énergies renouvelables présentes :

- Les vents** durant l'été, la dominance des vents est de direction (est, sud –est, ouest, sud-ouest) avec une vitesse de 35 mhp. Pour l'hiver, la dominance des vents est de direction nord (nord-Ouest, nord, nord-est) par une vitesse de 30 mhp ce qui favorise un emplacement spécial pour faire un champ d'énergies éolienne
- Le soleil** : Durant la saison estivale la durée d'ensoleillement peut atteindre jusqu'à 14 h par jours et le rayonnement peut atteindre jusqu'à 220kwh/m2 représentant une importante source de d'Energie solaire. (climate consultant)



**Figure 76 : les potentiels solaire et éolienne**

Source : auteure

## **8-L'intervention urbain :**

### **8-1-Analyse AFOM :**

L'aire d'intervention représente un groupe des atouts, des faiblesses, des opportunités et des menaces :

#### *8-1-1 Les atouts :*

- **Économique :**
  - ✓ Proximité des zones économiques et du centre urbain de la métropole d'Alger, ce qui pourrait être un avantage majeur pour attirer de nouvelles entreprises
  - ✓ La disponibilité d'une infrastructure moderne, y compris des connexions Internet rapides et une alimentation électrique stable.
- **Energétique :**
  - ✓ Les grands gisements des énergies renouvelables (éolienne, solaire)
- **Environnementale :**
  - ✓ La présence des Servitudes d'inconstructibilité pour préserver la ceinture végétale

*8-1-2 Les faiblesses :*

## ➤ Social :

Le manque et la pénurie d'aménagement et d'équipements d'un cyber parc, la communauté locale et régionale souffrira directement de l'exclusivité des opportunités en matière d'éducation, d'emploi et d'innovation.

- ✓ C'est un lieu de travail réservé uniquement aux communications et à la recherche, il ne contient aucun lieu d'hébergement ou d'activités commerciale, ce qui peut poser des difficultés aux travailleurs qui y travaillent, et rend la zone vivre le matin et vide le soir.

## ➤ Économique :

- ✓ Problèmes de Transport et Infrastructures : Les infrastructures non conformes et le manque de respect des réglementations de transport et de logistique entravent l'opportunité économique de la région en limitant son potentiel d'échange commercial et en limitant l'attractivité par rapport à l'investissement.
- ✓ Grandes Surfaces Inoccupées : L'emplacement vacant ne signifie que perte d'opportunité économique pour le développement immobilier, agricole, commercial ou industriel et limite la croissance économique régionale.

## ➤ Environnemental :

- ✓ La gestion des zones à forte pente est d'une importance capitale
- ✓ L'absence de l'aménagement public et les espaces de loisir

*8-13 Les opportunités :*

## Économique :

- ✓ La croissance économique régionale peut créer des opportunités d'attirer de nouvelles entreprises et de nouveaux investissements.
- ✓ L'encouragement de l'innovation et la recherche afin de créer des conditions favorables à l'implantation de nouvelles entreprises.

- ✓ Les grandes parcelles de terres vides offrent autant d'opportunités qu'une toile vierge pour des projets innovants qui stimuleront l'économie, comme des parcs urbains, des incubateurs, ou de nouveaux quartiers résidentiels et commerciaux.

8-1-4 Les menaces :

➤ Economique :

- ✓ Stagnation économique : les problèmes de transport, de logistique et le manque d'infrastructure peuvent freiner l'économie et l'investissement et être un obstacle à la croissance des entreprises locales.
- ✓ Une Mauvaise planification (des grandes surfaces perdues pour quelques fonctions seulement, alors qu'il serait possible de planifier un programme contenant de nombreux autres fonctions importants au service de la technologie et contribuant à maintenir la première priorité de la ville avant que le projet ne soit confié au ministère du Logement et de l'Urbanisme.)

➤ Environnemental :

- ✓ Les catastrophes naturelles comme les tremblements de terre ou les inondations.



Schéma 03 : l'analyse AFOM

Source : auteure

## 8-2- Plan d'action :

On va faire un plan d'action selon :

1-Les différentes interventions urbaines :

- restructuration des voies : prolongement, Création des nouvelles voies

- Réaménagement : création des équipement d'cyber parc

2-Les trois piliers du développement durables : économique, sociale, environnementale ;

1. Social :

Intégration les différent type d'usage : résidentiel, commercial, industriel ..., dans la zone urbaine pour favoriser la mixité sociale

La création de des différent type de transport (collectif et doux)

2.Environmentale : création des parcs spéciales pour l'étatisation des énergies renouvelable, l'aménagement des espaces verts (parcs)

3.Economique : l'étatisation des matériaux de construction locaux et isolants et la toiture végétalisée et la gestion des eaux pluviale

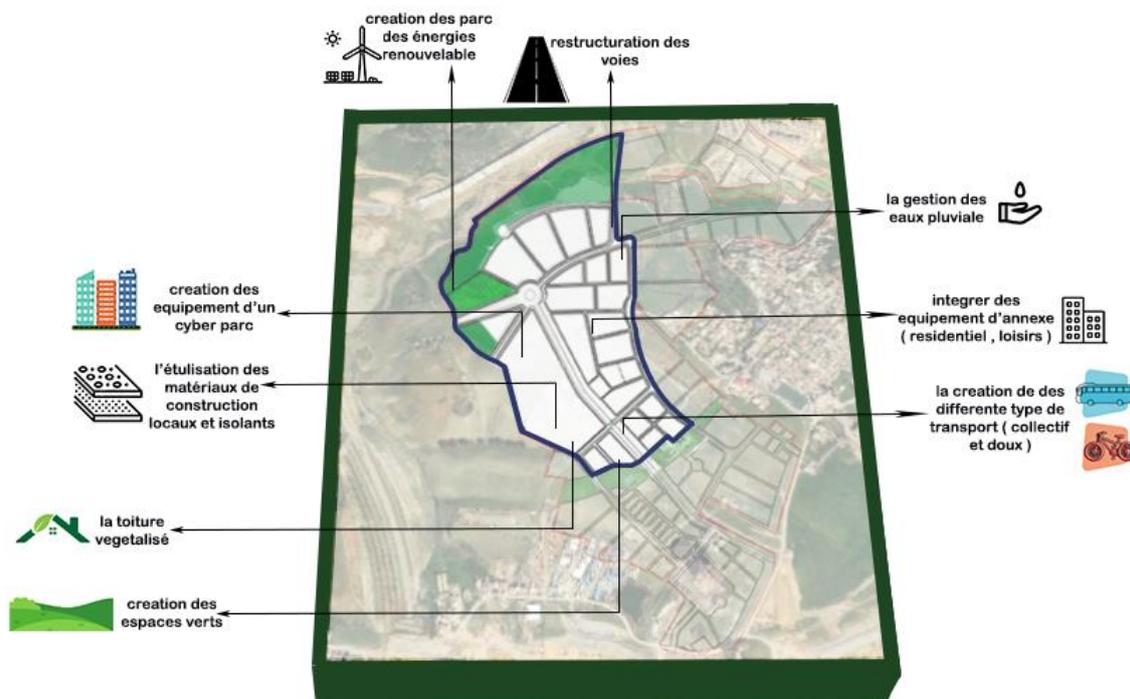


Schéma 04 : le plan d'action

Source : auteure

(Les détails de notre intervention et le plan d'aménagement seront joints ultérieurement dans le rapport)

### 8-3 Conclusion :

Le Cyber Parc de Sidi Abdellah est un projet unique dans l'Algérie, en termes d'innovation technologique et économique, il peut transformer l'économie de l'Algérie s'il est bien exploité et planifiée, donc il doit être amélioré afin de faciliter l'accès et de rehausser la qualité de vie de ses utilisateurs, pour mieux attirer les entreprises technologiques locaux et même étrangers, et créer plus des emplois

La zone de notre intervention présente de nombreuses opportunités mais nécessite des améliorations pour atteindre son plein potentiel et c'est ce que nous avons fait dans le plan d'action.

# **Chapitre 04 : Simulation et interprétation des résultats**

## **1-Généralité sur la simulation :**

### **Introduction :**

La simulation dynamique permet de garantir la solidité et la longévité du bâtiment ainsi que son efficacité, en éliminant tout ce qui peut être source d'inconfort et le recours à la climatisation. Elle est également utilisée pour évaluer l'environnement sur la consommation énergétique du bâtiment et pour avoir une idée de l'évolution annuelle des besoins en chauffage. (Admin. 2022)

Notre but est également d'atteindre l'efficacité énergétique du bâtiment et par l'introduction des énergies renouvelables dans le but de réduire ses consommations énergétiques.

### **1-1La simulation thermique en architecture :**

La simulation dynamique est un outil qui permet d'optimiser la conception énergétique des bâtiments en anticipant les problèmes énergétiques et en détectant les erreurs de conception. Elle permet de simuler le comportement thermique et énergétique d'un bâtiment en fonction des conditions climatiques, de l'occupation des locaux et des caractéristiques thermos physiques des matériaux de construction. Cette analyse est particulièrement indiquée pour les constructions soumises à une importante contrainte de température et pour les bâtiments soumis à une variation de l'occupation.

### **1-2-L'objectif de la simulation :**

Les principaux objectifs de la simulation sont : (Abenchabane , Zerroug , Guermache , 2019 )

- Optimiser les choix pour améliorer les performances énergétiques et le confort des locaux.
- Comparer entre plusieurs variantes entre elles pour évaluer les impacts de chaque choix sur le projet.
- Utiliser la simulation pour étudier les bâtiments en fonction des conditions climatiques et des caractéristiques thermos physiques des matériaux de construction.
- Maîtriser les éléments d'architecture fondamentaux, tels que la structure, les ouvertures, et les performances énergétiques, avant la construction réelle (Abenchabane , Zerroug , Guermache , 2019 )

### **1-3-Les logiciels de simulation :**

Il existe plusieurs logiciels de simulation, voici quelque logiciel les plus couramment utilisés :

ClimaWin : Un logiciel de simulation thermique dynamique qui permet de simuler le comportement thermique et énergétique de bâtiments, incluant l'autoconsommation et la production photovoltaïque. (BBS Logiciels, 2024)

- EnergyPlus : Un logiciel open source de simulation thermique dynamique développé par le Département de l'Énergie des États-Unis, il est utilisé pour la modélisation de bâtiments commerciaux et résidentiels. (calculcee, 2023)
- TRNSYS : un logiciel commercial de simulation thermique dynamique qui permet de modéliser des systèmes énergétiques complexes tels que des centrales solaires thermiques, des systèmes de stockage d'énergie, des pompes à chaleur, etc. (calculcee, 2023)
- DesignBuilder : Logiciel de simulation énergétique qui intègre des outils de modélisation de bâtiments, de conception de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que de calcul de l'éclairage naturel. (calculcee, 2023)

#### **1-4-Le choix du logiciel de simulation :**

DesignBuilder est un logiciel de simulation dynamique doté d'une interface graphique riche en fonctionnalités uniques par rapport aux autres logiciels disponibles. Ses principales caractéristiques incluent :

- Calcul des pertes et gains thermiques de l'enveloppe en hiver et en été
- Dimensionnement du système de chauffage.
- Dimensionnement du rafraîchissement via ventilation naturelle et/ou climatisation
- Simulation dynamique (STD) fournissant des données sur le confort, le bilan thermique, la ventilation, etc.
- Modélisation 3D réaliste avec visualisation des ombres portées (maquette BIM)
- Outil de modélisation du bâtiment avec assistants pour la création de fenêtres, la composition des constructions, et la détection automatique des types de parois, simplifiant ainsi les saisies et les dessins.
- Gestion de l'occupation, de la ventilation mécanique, des ouvertures de fenêtres, de l'occultation des baies, et des apports internes via un planning paramétrable selon les jours, mois, et heures (ou infra horaire).
- Économie d'énergie avec des options comme le free-cooling, les récupérateurs d'énergie sur air extrait, la ventilation nocturne, la gradation de l'éclairage selon la

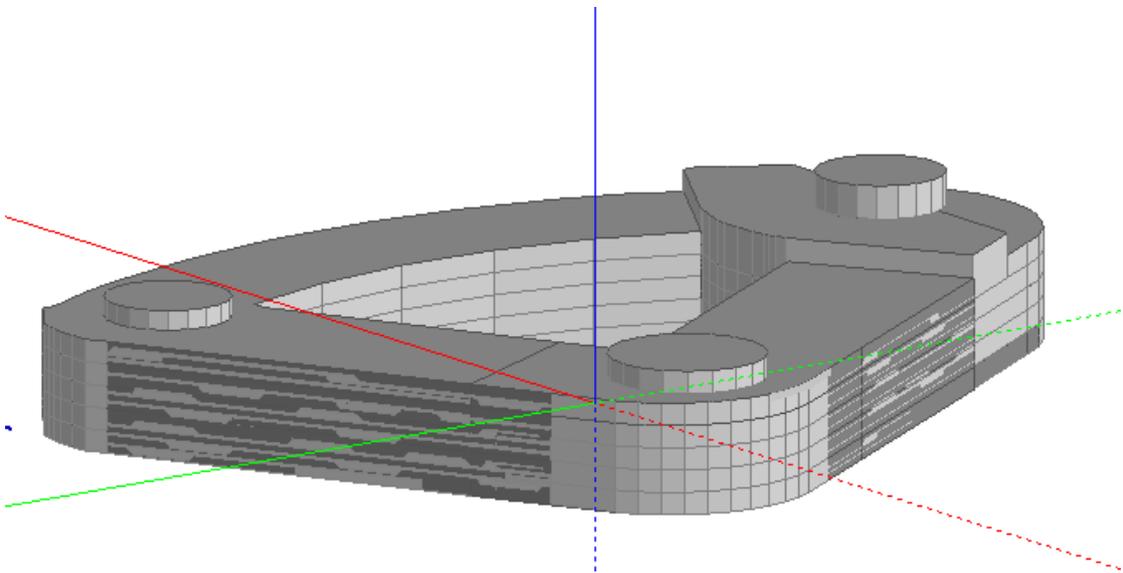
luminosité, la régulation des températures de l'air soufflé en fonction de la demande, et le volume d'air variable, accessibles en quelques clics.

- Une vaste bibliothèque de matériaux et des exemples fournis en français avec le Pack Français.
- Une Carte d'éclairement naturel en FLJ et Autonomie lumineuse.
- Calcul LEED concernant ASHRAE 90.1 et EAp2.
- Calcul en coût global à l'aide de fonction puissante d'estimation des coûts de construction, d'énergie, de cycle de vie basé sur la maquette BIM.
- Module d'optimisation vous permettant de déterminer les paramètres du bâtiment offrant le meilleur compromis coût, confort, GES (design Builder).

## 2-Les protocoles de la simulation :

### 2-1-La modélisation dans le logiciel design Builder :

La première étape du protocole de simulation que nous avons suivi réside dans la modélisation du bâtiment, à cet effet, nous avons modélisé notre construction afin d'optimiser le son bilan thermique et énergétique.



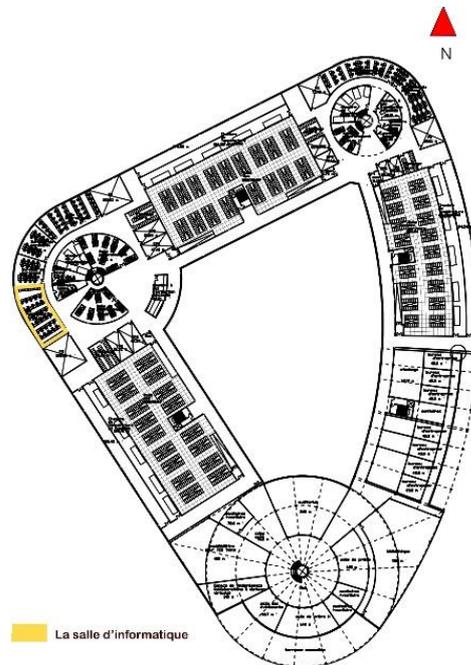
**Figure 77 : Modélisation du bâtiment via le logiciel on design builder**

(Source : auteures)

Dans le cadre de notre travail, nous allons réaliser une série de simulation afin de déterminer le seuil du confort thermique, en évaluant le bilan thermique au sein de deux espaces.

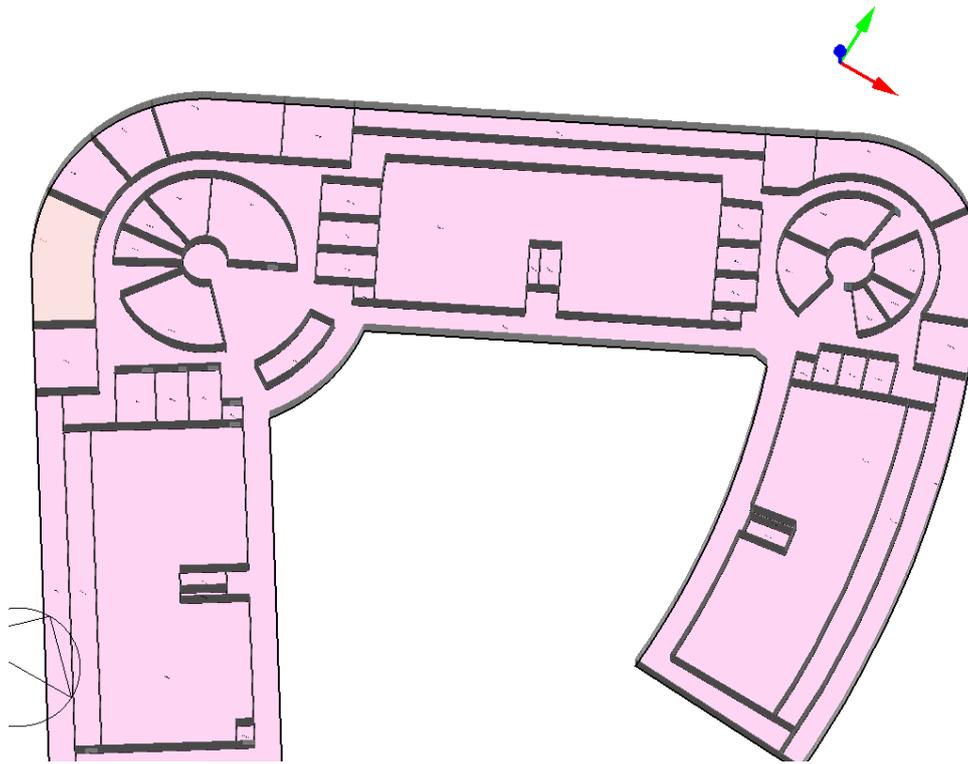
*2-1-1 Salle d'informatique :*

Le premier espace (salle d'informatique) est considéré comme le plus défavorable de notre bâtiment aux vues de l'exposition de la façade ouest et de la toiture aux rayonnement solaire excessif.



**Figure 78 : la situation de la salle des serveurs au R+3**

(Source : auteures)

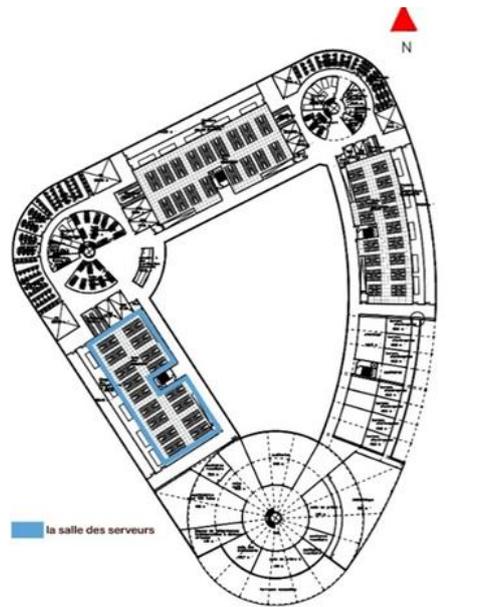


**Figure 79 : la modélisation de la salle informatique dans le logiciel « design Builder »**

(Source : auteures)

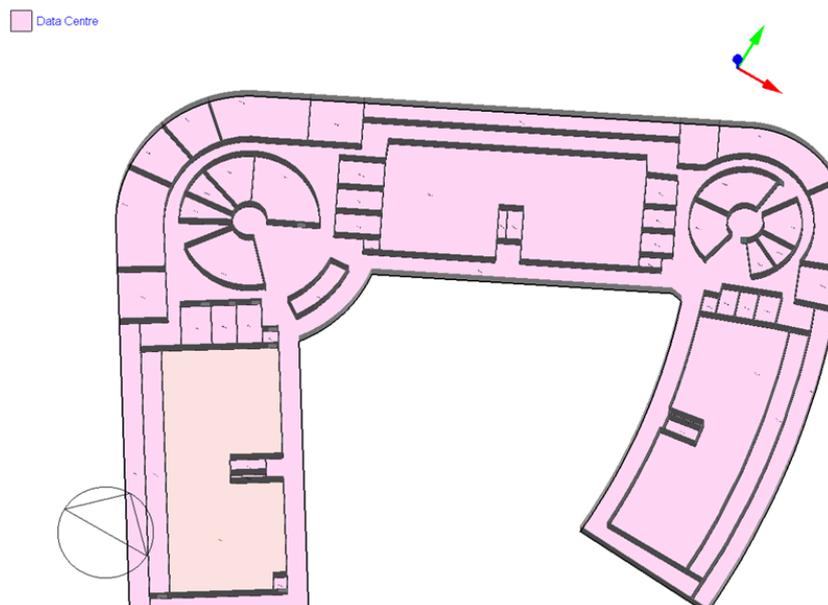
#### *2-1-2-Salle des serveurs :*

La salle des serveurs est exposée au rayonnement solaire par la toiture la plus importante dans un centre donné et qui nécessite une grande puissance de refroidissement.



**Figure 80 : la situation de la salle des serveurs au R+3**

(Source : auteures)



**Figure 81 : la modélisation de la salle des serveurs dans le logiciel « design Builder »**

Source : auteure

**2-2-Les scénarios de la simulation thermique :**

1. On a choisi des matériaux selon les caractéristiques physiques et thermiques des matériaux retenus, afin d'atteindre le confort en été et en hiver.

*2-2-1-L'état initiale :***Mur extérieur :****Tableau 8 : les murs extérieurs à l'état initial**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Virage simple (genic low iron 5mm)	0.06	0.09
Aluminium composite avec noyau en Polyuréthane	0.8	0.03

**Mur intérieur :****Tableau 9 : les murs intérieurs à l'état initial**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Ciment	0.01	1.4
Brick	0.1	0.69
Ciment	0.01	1.4

**La toiture :****Tableau 10 : la toiture à l'état initial**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Bitume	0.01	0.5
Polyuréthane	0.4	0.035
Acier	0.003	50

**Le plancher :****Tableau 11 : le plancher à l'état initial**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Pvc	0.02	0.85
Béton coulé	0.2	1.4

2-2-1-a-La Salle d'informatique :

Scenario 1 :

On change les matériaux de la toiture et du plancher intermédiaire, en ajoutant des matériaux isolants.

**La toiture :****Tableau 12 : les modifications dans la toiture**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Gravier	0.05	0.36
Etanchéité multicouche	0.2	0.21
Polyuréthane	0.4	0.035
Béton coulé	0.2	1.4

**Le plancher :****Tableau 13 : les modifications dans la toiture**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Époxy	0.2	0.85
Polyuréthane	0.4	0.035
Mortier	0.2	1.5
Béton coulé	0.2	1.4

Scenario 2 :

On a remplacé le simple vitrage par le double vitrage.

**Tableau 14 : les modifications dans le mur rideau**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Generic low iron	0.05	0.9
Air gap	0.06	0
Generic low iron	0.05	0.9

Scenario 3 : on a intégré les brise soleil dans le côté ouest.

**Tableau 15 : l'intégration des brises soleil**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Brise soleil (en bois)	0.5	0.85

Scenario 4 : on a activé la climatisation HVAC.

2-2-1-b La salle des serveurs :

Scenario 1 :

On change les matériaux de la toiture et le plancher intermédiaire.

**La toiture**

**Tableau 16 : les modifications dans la toiture**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Gravier	0.05	0.36
Étanchéité multicouche	0.2	0.21
Polyuréthane	0.4	0.035
Béton coulé	0.2	1.4

**Le plancher :****Tableau 17 : les modifications dans le plancher**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Une grille métallique	0.5	1.2
Époxy	0.2	0.85
EPS polystyrène	0.4	0.035
Mortier	0.2	1.5
Béton coulé	0.2	1.4

Scenario 2 :

On a ouvert des fenêtres avec un filtre à air entre la salle des serveurs et la chambre de température et d'humidité, ainsi qu'entre la chambre de température et d'humidité et le couloir d'aération.

**Tableau 18 : l'intégration de la fenêtre**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Virage simple (genic low iron 5mm)	0.06	0.09

Scenario 3 :

On a remplacé le simple vitrage par le double vitrage dans les fenêtres et les mur extérieurs mur rideau).

**Tableau 19 : doubler le vitrage**

(Source : auteures)

Matériaux	L'épaisseur	Conductivité
Generic low iron	0.05	0.9
Air grap	0.06	0
Generic low iron	0.05	0.9

Scenario 4 :

On intègre le système active HVAC (free cooling) pour la climatisation.

#### 2-2-2-La quantification de la température :

L'évaluation du confort thermique a été permise grâce à la simulation que nous avons réalisée à travers le logiciel qui a quantifié la température interne par rapport à la température externe.

#### 2-2-3-La quantification de l'énergie :

Dernière étape de ce protocole est la quantification de la consommation énergétique en considérant l'intégration des panneaux photovoltaïques et les éoliennes.

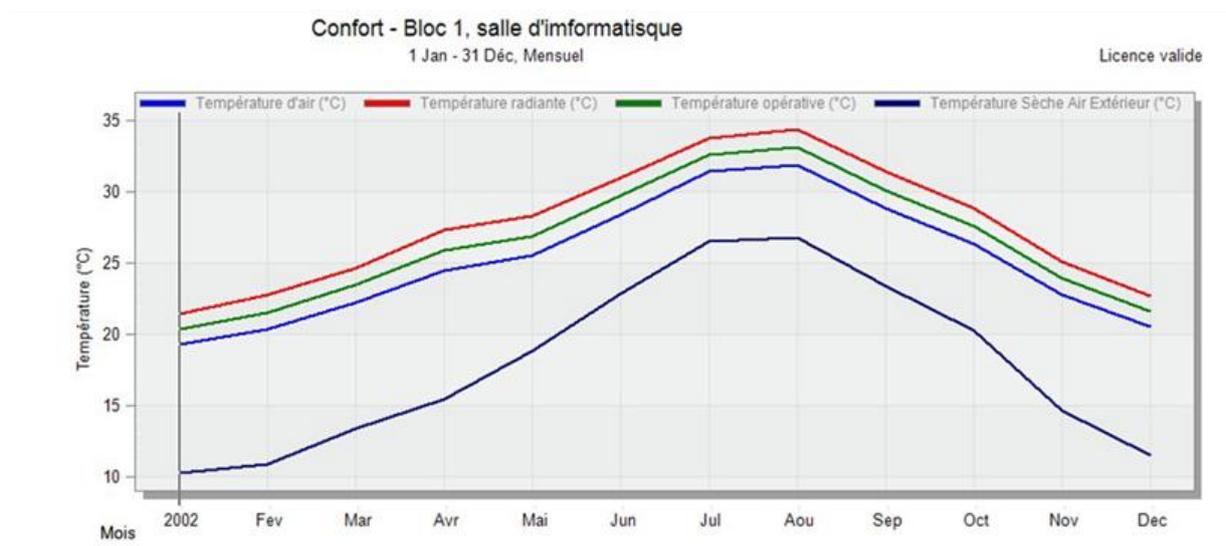
On a intégré 3 éoliennes de 50kw de 30m de hauteur, et 3500 panneaux sont installer dans la toiture, dont les dimensions sont :1m sur 0.584m.

### 3-Les Résultats et les interprétations :

#### 3-1-Le bilan thermique :

##### 3-1-1-a-La salle d'informatique :

##### 3-1-1-a-a-L'état actuelle :



**Figure 82 : évolution des courbes de température avant l'affectation des stratégies d'optimisation**

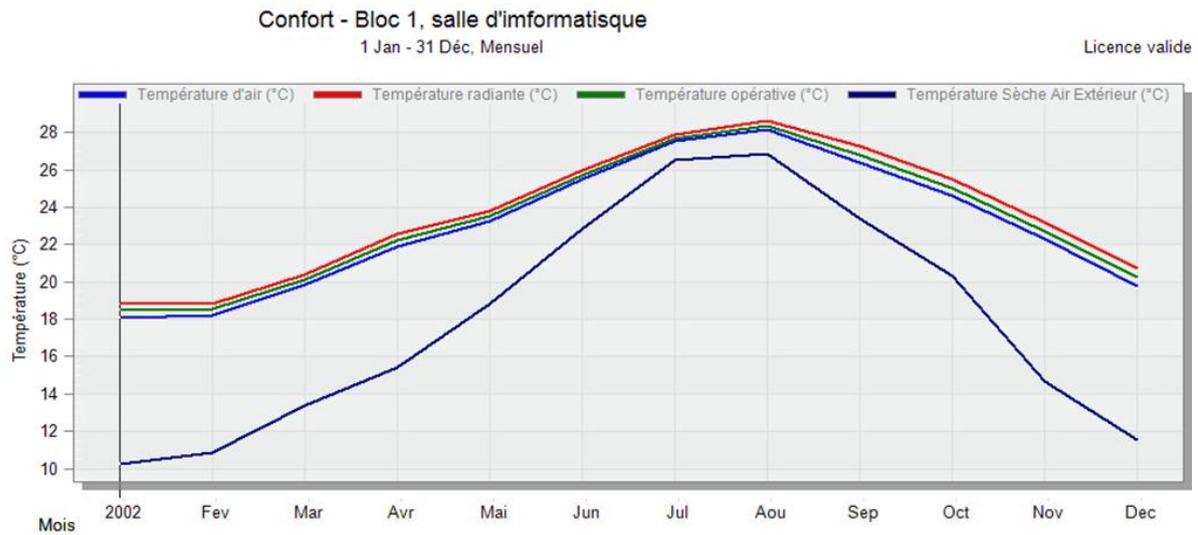
(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre 29.69° jusqu'à 32.12° cette période inclus 4 mois (juin, juillet, aout, septembre) .

Phase 2 : la température opérative est entre 20.35° jusqu'à 27.59° cette période inclus 8 mois (octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

- La température est très élevée due à l'absence des techniques passives et actives

## 3-1-1-a-b-Après les modifications dans le plancher et la toiture :



**Figure 83 : la température après l'affectation du scénario 1 (isolation du plancher et la toiture**

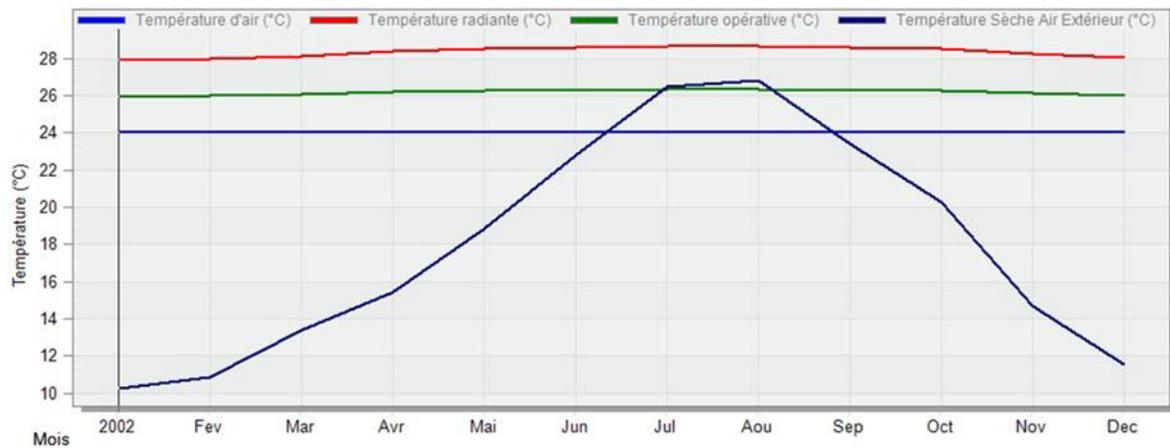
(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre 26.80° jusqu'à 28.37° cette période inclus 3 mois (, juillet, aout, septembre)

Phase 2 : la température opérative est entre 18.46° jusqu'à 25.71 cette période inclus 9 mois (octobre, novembre, décembre, septembre, janvier, février, mars, avril, mai, juin)

- La température opérative à diminuer un peu par rapport à l'état initiale car l'isolant bloque la pénétration des rayonnements solaire au bâtiment, alors on remarque une légère baisse de la température ambiante à l'intérieur du bâtiment.

3-1-1-a-c-Après les modifications dans les murs extérieurs



**Figure 84 : la température après l'affectation du scénario 2 (double vitrage)**

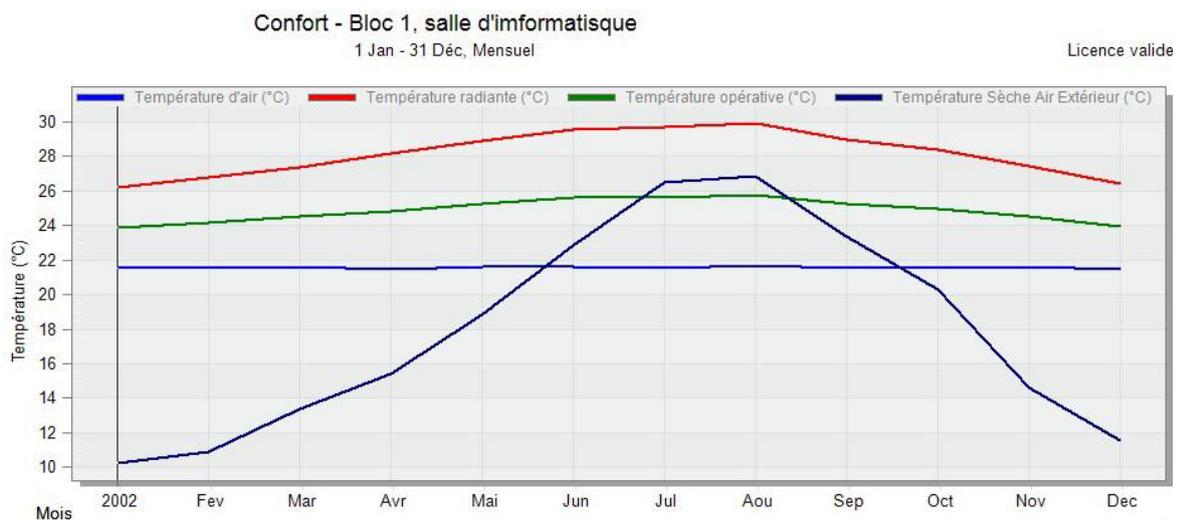
(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre 25.97° jusqu'à 26.25° cette période inclus 8 mois (octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

Phase 2 : la température opérative est entre 26.30° jusqu'à 26.33° cette période inclus 4 mois (Juin, juillet, aout, septembre).

La température opérative est constante car le double vitrage peut maintenir une température plus constante, en hiver il limite la déperdition de la chaleur vers l'extérieur, et en été il bloque une grande quantité des rayonnements solaire.

3-1-1-a-d-Après l'intégration des brises soleil :



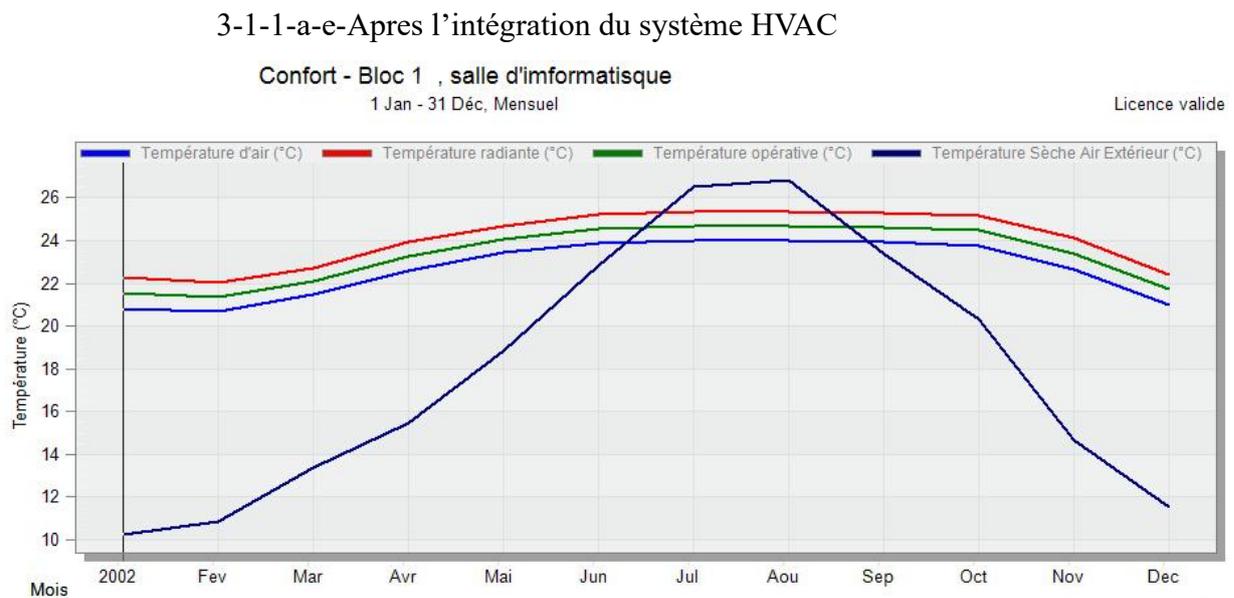
**Figure 85 : la température après l'affectation du scénario 3 (brise soleil)**

(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre  $25.57^{\circ}$  jusqu'à  $25.77^{\circ}$  cette période inclus 3 mois (juin, juillet, aout).

Phase 2 : la température opérative est entre  $23.85^{\circ}$  jusqu'à  $25.25$  cette période inclus 7 mois (octobre, novembre, décembre, septembre, janvier, février, mars, avril).

- La température opérative a diminué car les brises soleils fonctionne comme un obstacle qui bloque les rayonnements solaires, et qui garde une température ambiante fraîche surtout en été.



**Figure 86 : la température après l'affectation du scénario 4 (système HVAC)**

(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre  $24.57^{\circ}$  jusqu'à  $24.69^{\circ}$  cette période inclus 3 mois (juin, juillet, aout).

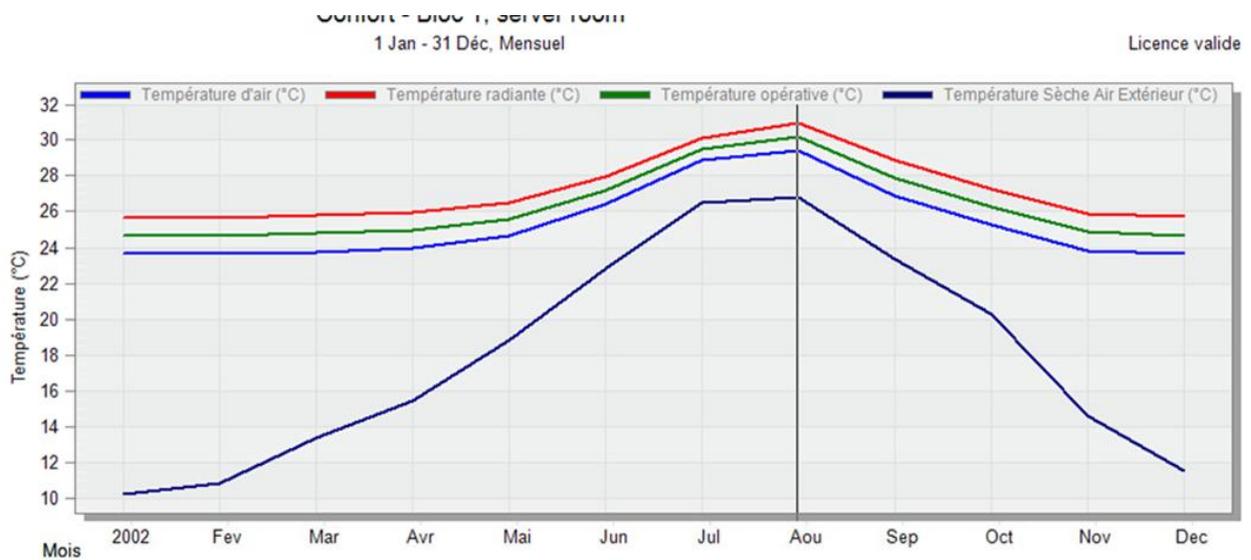
Phase 2 : la température opérative est entre  $21.53^{\circ}$  jusqu'à  $24.63$  cette période inclus 7 mois (octobre, novembre, décembre, septembre, janvier, février, mars, avril).

- La température opérative est presque constante en hiver car le système HVAC (chauffage) maintien une température intérieure constante pendant toute la période de froide, et en été le système HVAC (refroidissement) maintien une température intérieure constante pendant toute la période chaude.

Après l'utilisation des techniques passives, l'ambiance thermique obtenue de la salle d'informatique se situe dans la zone de confort qui est entre  $18^{\circ}$  et  $27^{\circ}$ .

3-1-1-b-La salle des serveurs :

3-1-1-b-a-L'état initiale :



**Figure 87 : la température avant les modifications**

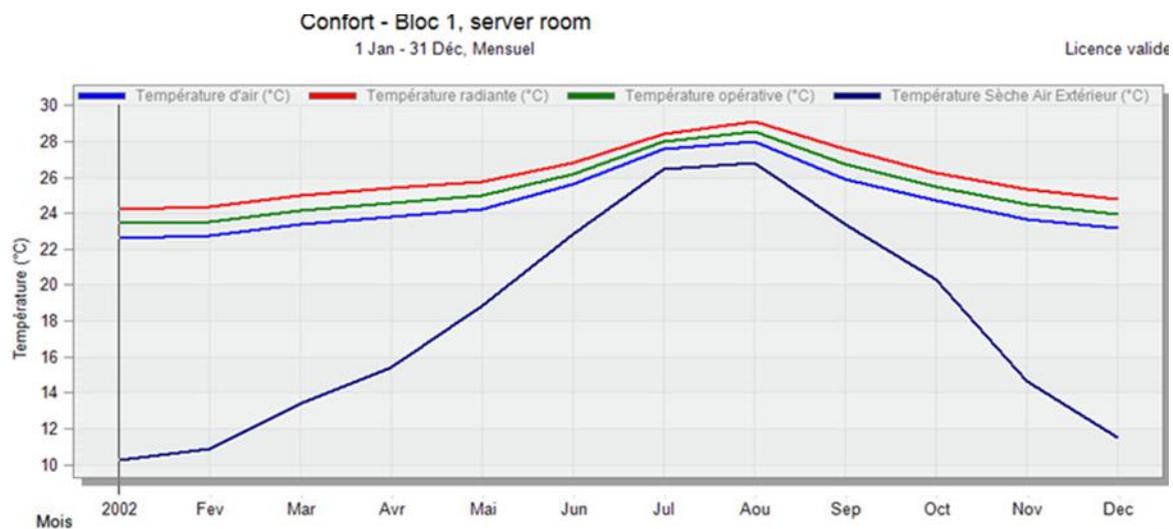
(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre 24.73° jusqu'à 29.12° cette période inclus 8 mois (octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

Phase 2 : la température opérative est entre 28,17° jusqu'à 31.67° cette période inclus 4 mois (Juin, juillet, aout, septembre).

La température est très élevée due à l'absence des techniques passives et actives.

3-1-1-b-b-Après les modifications dans le plancher et la toiture :



**Figure 88 : Après les modifications dans le plancher et la toiture**

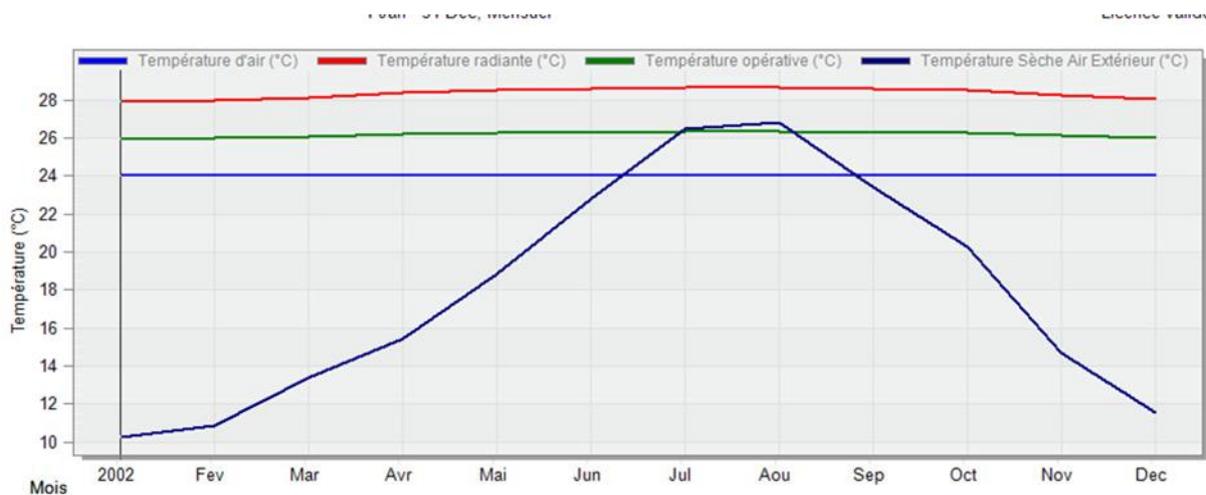
(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre  $24.63^{\circ}$  jusqu'à  $27.8719^{\circ}$  cette période inclus 8 mois (octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

Phase 2 : la température opérative est entre  $27.87^{\circ}$  jusqu'à  $30.17$  cette période inclus 4 mois (Juin, juillet, aout, septembre).

La température opérative a diminuer un peu par rapport à l'état initiale car l'isolant bloque la pénétration des rayonnements solaire au bâtiment, alors on remarque une légère baisse de la température ambiante à l'intérieur du bâtiment.

### 3-1-1-b-c-La température après l'intégration de la fenêtre (simple vitrage) :



**Figure 89 : température après l'intégration de la fenêtre (simple vitrage)**

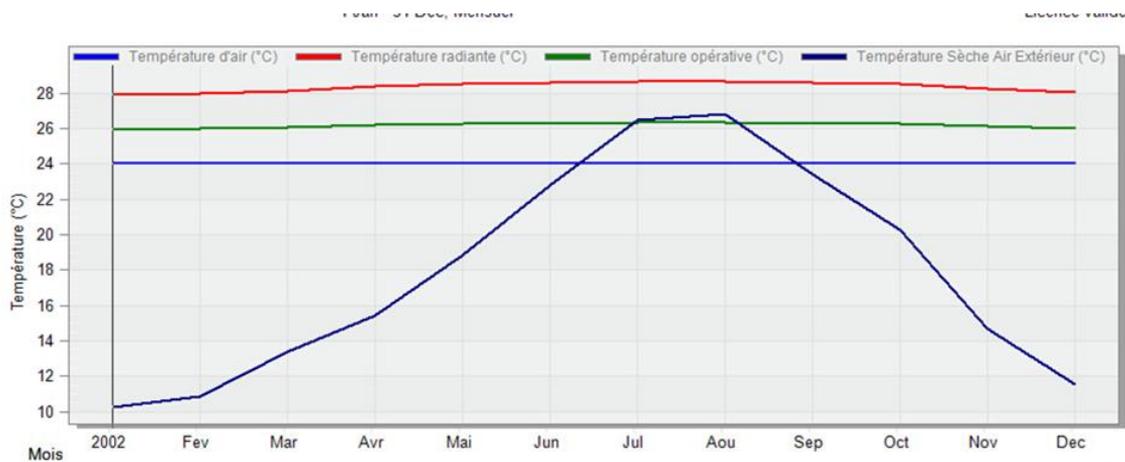
(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre  $25.30^{\circ}$  jusqu'à  $25.50^{\circ}$  cette période inclus 8 mois (octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

Phase 2 : la température opérative est entre  $26.80^{\circ}$  jusqu'à  $28.50^{\circ}$  cette période inclus 3 mois (juin, juillet, aout, septembre).

La température opérative a diminué un peu par rapport à l'état initiale car la fenêtre créer un courant d'air froid et alors la température diminue, surtout en hiver.

3-1-1-b-d-Après l'intégration de la fenêtre (double vitrage) :



**Figure 90 : Après l'intégration de la fenêtre (double vitrage)**

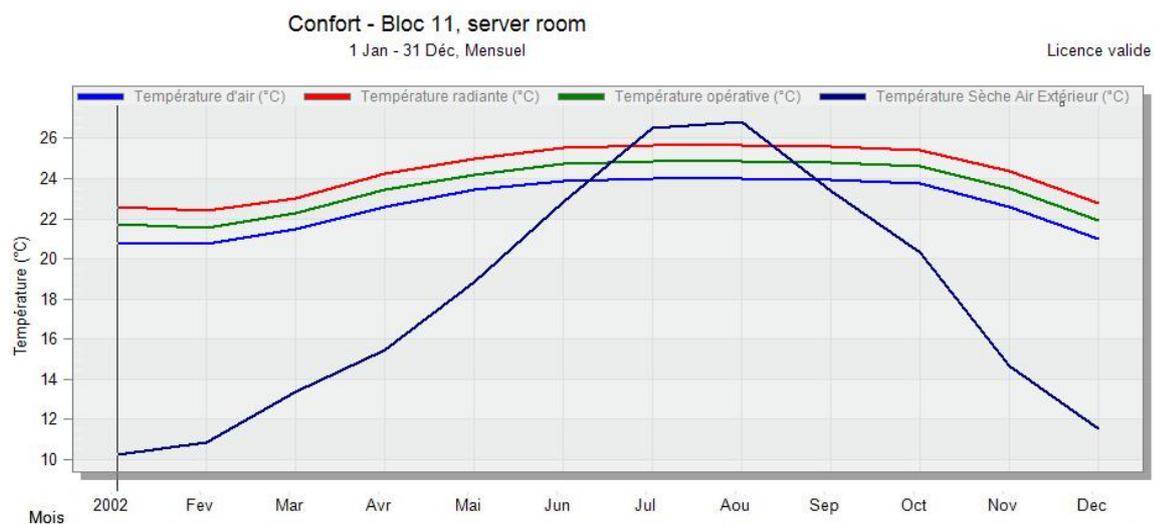
(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre 25.97° jusqu'à 26.25° cette période inclus 8 mois (octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

Phase 2 : la température opérative est entre 26.30° jusqu'à 26.34° cette période inclus 4 mois (juin, juillet, août, septembre).

La température à diminuer un peu car le double vitrage limite le transfert de la chaleur.

3-1-1-b-e-Après l'intégration du système HVAC :



**Figure 91 : Après l'intégration du système HVAC**

(Source : auteures)

Phase 1 : la température opérative est entre 21.70° jusqu'à 24.59° cette période inclus 8 mois (octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril, mai).

Phase 2 : la température opérative est entre 24.71° jusqu'à 24.81° cette période inclus 4 mois (juin, juillet, août, septembre).

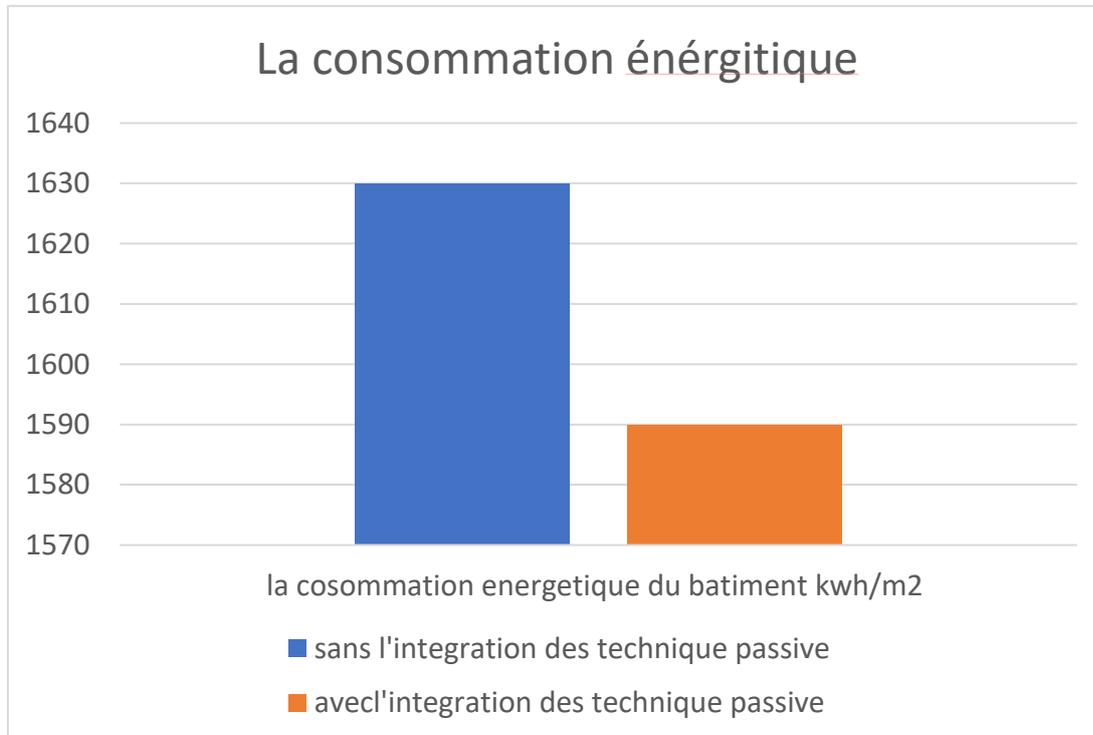
La température opérative est presque constante en hiver car le système HVAC (chauffage) maintient une température intérieure constante pendant toute la période de froide, et en été le système HVAC (refroidissement) maintient une température intérieure constante pendant toute la période chaude.

Après l'utilisation des techniques actives et passives, l'ambiance thermique obtenue de la salle des serveurs se situe dans zone de confort qui est entre 18° et 27°.

Les stratégies passives ont permis un meilleur confort que celui qui régnait à l'état initial, elles ont permis aussi une réduction de la température, mais que la courbe de température n'a pas pu atteindre la zone de confort et c'est pour cette raison que nous sommes recourus aux stratégies actives (système de refroidissement, etc.) et qui a permis d'assurer le confort optimal et que ce confort n'a pu être atteint qu'à partir de la combinaison des deux types de stratégies (passive et active).

#### 4-Bilan énergétique :

Après avoir évalué le bilan thermique, nous avons quantifié les consommations énergétiques avant et après l'intégration des techniques passives, les résultats obtenus sont présentés dans la figure suivante :



**Figure 92 : la consommation énergétique en kwh/m2**

(Source : auteures)

On remarque qu'après l'intégration des techniques passives (double vitrage, l'isolation dans les murs et les planchers et la toiture) en remarque que la consommation énergétique a diminué, car ces derniers visent à limiter le transfert de la chaleur, cela réduit nettement la consommation énergétique (chauffage et climatisation) qui maintien une température intérieurs confortable.

#### 3-3-L'intégration des panneaux photovoltaïque et les éoliennes :

On a voulu intégrer les énergies renouvelables pour réduire la dépendance aux énergies fossiles et améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment.

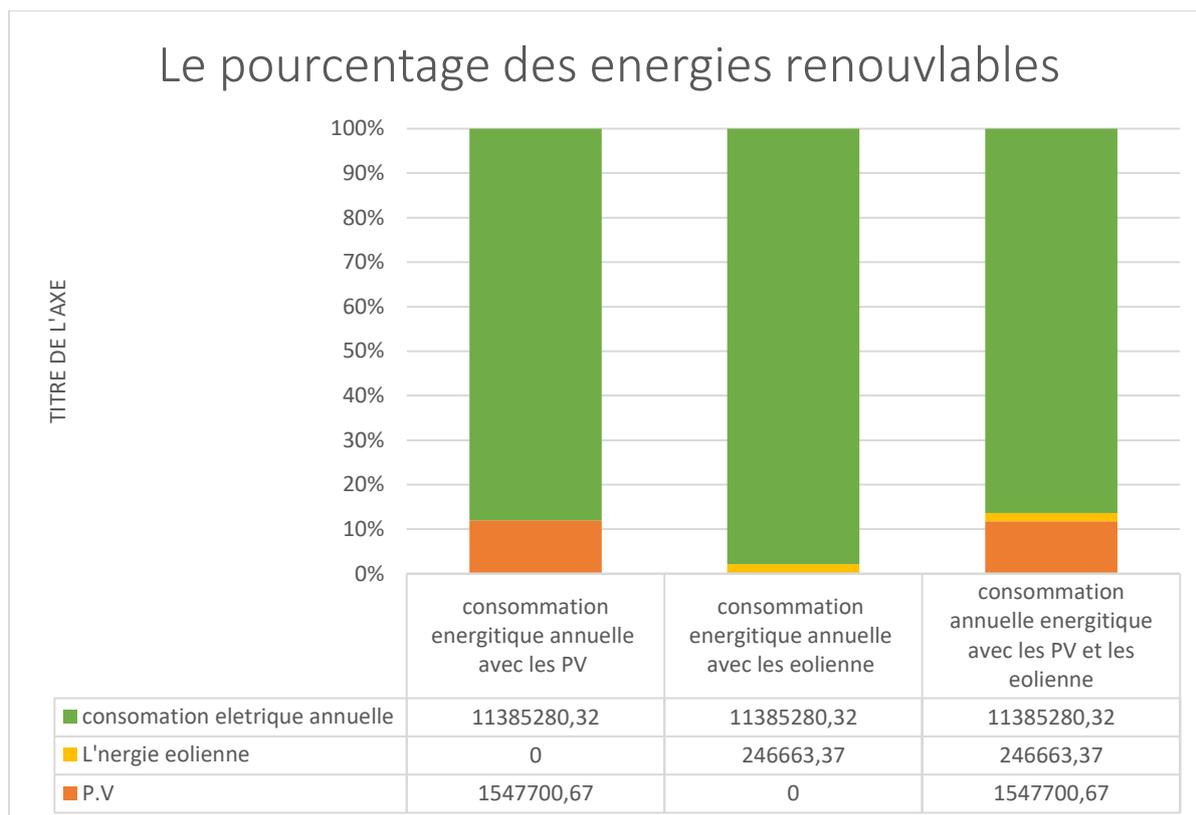
Les résultats de la consommation énergétique d'énergie éoliennes et des panneaux photovoltaïques sont à travers le logiciel design Builder les résultats sont dans le tableau :

**Tableau 20 : Résumé des sources d'énergie renouvelable**

(Source : auteure à partir du logiciel design Builder)

**L-1. Renewable Energy Source Summary**

	Rated Capacity [kW]	Annual Energy Generated [kWh]
Photovoltaic	824.00	15477000.67
Wind	165.00	246663.37



**Figure 93 : Le pourcentage des énergies renouvelables par rapport à la consommation globale de l'énergie**

(Source : auteures)

Le pourcentage de réduction de la consommation énergétique grâce à l'intégration des panneaux photovoltaïques est de 13,59 %. Le pourcentage de réduction de la consommation énergétique grâce à l'intégration des éoliennes est faible, à 2,17 %. La combinaison des deux peut réduire la consommation énergétique de 15,76 %.

**Conclusion :**

Les technique passives joue un rôle important dans la réduction de la consommation énergétique (refroidissement et le chauffage et l'éclairage), mais parfois les techniques passives ne sont pas suffisantes, on doit les renforcer par des techniques actives (système mécanique) tous en

intégrant les énergies renouvelables pour réduire les dépendances aux énergies fossiles et améliorer l'efficacité énergétique.

## Conclusion générale :

Notre thématique appartient à un contexte aussi important que fécond, il nourrit une problématique des plus importantes à l'échelle planétaire. En effet, notre thématique aborde le contexte énergétique et environnemental de nos bâtiments à travers une étude explicative et expérimentales d'une nuée de stratégies passives et renouvelables susceptibles de rendre nos bâtiments aussi efficaces que confortables. Pour atteindre nos objectifs, nous avons construit dès l'amont de ce projet les hypothèses suivantes :

- ✚ L'isolation de l'enveloppe du bâtiment combinée à des protections solaires améliore le confort thermique de manière très significative.
- ✚ Le free cooling améliore le bilan thermique du bâtiment tout en réduisant ses consommations énergétiques.
- ✚ La combinaison des stratégies passives à l'énergie solaire et éolienne réduit les consommations énergétiques du bâtiment.

Nous en concluons que la troisième hypothèse est correcte et que dans notre projet, il n'est pas possible de compter sur l'énergie solaire uniquement comme source de production d'énergie en raison de l'énorme consommation de ce type de projet. Il faut plutôt adopter une autre source, à savoir l'énergie éolienne, ainsi que le recours aux techniques passives en plus des techniques actives, car les techniques passives jouent un rôle important dans la réduction de la consommation énergétique (refroidissement et le chauffage et l'éclairage), mais parfois les techniques passives ne sont pas suffisantes, on doit les renforcer par des techniques actives (système mécanique) tout en intégrant les énergies renouvelables pour réduire les dépendances aux énergies fossiles et réduire les dépendances énergétiques.

On propose de planter un champ éolien pour atteindre pour augmenter la réduction de la consommation énergétique.

Nous sommes impatients de rendre nos villes plus durables et ne sont pas dépendantes des énergies fossiles qui polluent notre environnement

## Références bibliographiques :

### Ouvrages et monographies :

1. Ali M. Eltamaly, 2013, « cour Introduction à l'énergie éolienne », (data file), disponibilité et accès : <https://faculty.ksu.edu.sa/sites/default/files/Prof%20Eltamaly%20CV1.pdf> , Université du Roi Saoud. Dr. Ali M. Eltamaly. Donner par Mr Ouezane p21

2. BELAID LALOUNI Sofia, 2015, Cours Energie Solaire Photovoltaïque, p 7

16. BESANCENOT François, 2008, Territoire et développement durable : Diagnostic, éditions le Harmattan, p.225

3. Prof. Nouredine YASSAA-, Messaoud KHELIF 2020, Rapport « Transition Energétique en Algérie : Leçons, Etat des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Energies Renouvelables » 18p

4. Kaoula dalel, 2016, « cours ; les paramètres passifs de l'architecture bioclimatique », P16

### Articles et diverses publications :

1. Abenchabane , Zerroug , Guermache , 2019. « La simulation thermique dans la conception architecturale des équipements publics », p 35

2. Agence Nationale de Promotion & de Développement des Parcs Technologiques ANPT ,2018)

3. établissement public pour l'aménagement de la ville nouvelle de Sidi Abdellah, 2004, Mission B plan d'aménagement Première partie : Diagnostic environnemental & orientations urbaines)

4. HAMITI Dalila, 2022, 'État des lieux des énergies renouvelables et de la stratégie d'efficacité énergétique en Algérie' , Revue D'Etudes juridiques et Economiques ISSN 2602-7321/ EISSN 2773- 2649. Vol : 05, No : 02, P1397

5. Jean-Louis IZARD Olivier KAÇALA, 2006, Les données thermo-hygro-métriques méditerranéennes)

6. Larbaoui, A. (2022) « La contribution au développement énergétique durable du pays d'Algérie », Journal of Political Orbits, <https://search.mandumah.com/Record/1431314> Volume6, N°1, pp. 216-226 ,

7. Noureddine YASSAA, Messaoud KHELIF, 2020, « Rapport Transition Energétique en Algérie : Leçons, Etat des Lieux et Perspectives pour un Développement Accéléré des Energies Renouvelables ».17p

### **Bases de données :**

1. Abderrahmane Boursas ,2012, « étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation », (data file), disponibilité et accès : [https://www.researchgate.net/profile/AbderrahmaneBoursas/publication/333666847\\_THEME\\_ETUDE\\_DE\\_L'EFFICACITE\\_ENERGETIQUE\\_D'UN\\_BATIMENT\\_D'HABITATION\\_A\\_L'AIDE\\_D'UN\\_LOGICIEL\\_DE\\_SIMULATION/links/5cfc463c92851c874c5999e9/THEME-ETUDE-DE-LEFFICACITE-ENERGETIQUE-DUN-BATIMENT-DHABITATION-A-LAIDE-DUN-LOGICIEL-DE-SIMULATION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/AbderrahmaneBoursas/publication/333666847_THEME_ETUDE_DE_L'EFFICACITE_ENERGETIQUE_D'UN_BATIMENT_D'HABITATION_A_L'AIDE_D'UN_LOGICIEL_DE_SIMULATION/links/5cfc463c92851c874c5999e9/THEME-ETUDE-DE-LEFFICACITE-ENERGETIQUE-DUN-BATIMENT-DHABITATION-A-LAIDE-DUN-LOGICIEL-DE-SIMULATION.pdf)

2. Adeline M , 2018 , « Tout savoir sur l'éolienne verticale » », (data file), disponibilité et accès: <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/energie-renouvelable/tout-savoir-sur-l-eolienne-verticale>, (Page consulté le 01 janvier 2024), Blida

3. Admin ,2022, « Quelle est l'importance de la simulation thermique dynamique ». (data file), disponibilité et accès : <https://www.chambre-agricpulture-28.com/quelle-est-limportance-de-lasimulation-thermique-dynamique/>, Blida

4. admin, 2024, « Qu'est-ce que c'est l'architecture durable », (data file), disponibilité et accès : <https://www.gradhermetic.com/fr/node/3310>, la decouverte de l'architecture bioclimatique

5. Alpiq, 2022, « Energie éolienne : définition et fonctionnement », (data file), disponibilité et accès : <https://particuliers.alpiq.fr/guide-energie/marche-energie/energie-eolienne>

6. Amandine (2023) Énergies renouvelables : tour du monde des meilleurs élèves. <https://blog.lendopolis.com/energies-renouvelables/energies-renouvelables-tour-du-monde-11-meilleurs-eleves/>.

7. Bastien L, 2023, « Définition Data Center : qu'est-ce qu'un centre de données ? », (data file), disponibilité et accès : <https://www.lebigdata.fr/definition-data-center-centre-donnees> , (Page consulté le 17 novembre 2023), Blida

8. Batizze, (2024) , Architecture durable énergie, » (data file), disponibilité et accès : <https://www.batizze.com/2024/04/architecture-durable-energie.html>

9.BBS Logiciels (2024), « Logiciel STD Simulation Thermique Dynamique | CliMaWIN 2020 » (data file), disponibilité et accès : . <https://www.bbs-logiciels.com/logiciel-std-climawin/>, Blida

10.calculcee 2023, « Qu'est-ce qu'une simulation thermique dynamique (STD)? », (data file), disponibilité et accès : . <https://www.calculcee.fr/article/simulation-thermique-dynamique-std/>, Blida

11.Claudet, J. (2022), « La différence entre l'énergie solaire photovoltaïque et thermique », (data file), disponibilité et accès : <https://trustmyscience.com/differences-energie-solaire-photovoltaique-et-thermique/>, (Page consulté le 15 octobre 2023), Blida

12. Cohen, D. , 2023, Data Center : Qu'est-ce que c'est ? À quoi ça sert ? , disponibilité et accès :  
:  
<https://datascientest.com/datacentertoutsavoir#:~:text=Les%20data%20centers%20sont%20au,faciliter%20la%20continuit%C3%A9%20des%20activit%C3%A9s.>

13.Contributeurs aux projets Wikimedia, (2023), « Développement durable », ( Data file), disponibilité et accès : [https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9veloppement\\_durable](https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9veloppement_durable),

14.Contributeurs aux projets Wikimedia (2023) , « Architecture écologique », ( data file ), disponibilité et accès : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture\\_%C3%A9cologique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_%C3%A9cologique)

15. Darcy Chang, 2020 , « Cloud Ring-Naver Cloud Data Center » , <https://worldarchitecture.org/architecture-projects/hfffh/cloud-ring-naver-cloud-data-center-project-pages.html>.

16.De Les Valls, V.V. (2019), « Info Eolien : composants d'une olienne », (data file), disponibilité et accès : <http://www.info-eolien.com/energie-eolienne-composants.html>, (Page consulté le 01janvier2024), Blida

17.design builder , « Pourquoi choisir le logiciel DesignBuilder » , ». (Data file), disponibilité et accès :

<https://www.batisim.net/designbuilder.html#:~:text=DesignBuilder%20est%20un%20logiciel%20de,l'enveloppe%20en%20hiver%2F%C3%A9t%C3%A>,

18. Dictionnaire Larousse ? « Le confort » », (data file), disponibilité et accès :<https://www.xpair.com/lexique/definition/confort.htm>

19. diwatt, 2023, les éoliennes verticales pour produire son énergie », (data file), disponibilité et accès : <https://www.diwatt.fr/eolienne-verticale.php>
20. Douce Cahute, 2024, “Architecture durable “, (data file), disponibilité et accès: <https://maison monde.com/architecture-durable/>
21. DPLG, J.-M.P.-A. (2010) , disponibilité et accès <https://passivact.fr/Concepts/files/CompaciteBatiment-Consequences.html>
22. Ecofin, A. Hydroélectricité : l’Afrique possède le plus grand potentiel inexploité au monde, à 474 gigawatts (IHA). <https://www.agenceecofin.com/energies/1410-102011-hydroelectricite-l-afrique-possede-le-plus-grand-potentiel-inexploite-au-monde-a-474-gigawatts-iha>.
23. Edf, (2023), « Énergie éolienne : 5 avantages pour les collectivités », (data file), disponibilité et accès : <https://www.edf.fr/collectivites/le-mag/strategie-energetiqueterritoriale/energie-eolienne-5-avantages-pour-les-collectivites>
24. EDF ENR, (2024) « Efficacité énergétique », disponibilité et accès : <https://www.edfenr.com/lexique/efficacite-energetique>
25. eqinov, 2023, « Efficacité énergétique : définition, enjeux, champs d’application », (data file), disponibilité et accès : <https://www.eqinov.com/equilibreblogenergie/efficaciteenergetique>
26. Fastrez, D, 2023, « Conception bioclimatique : l’habitat du futur ? », (data file), disponibilité et accès : <https://www.hellocarbo.com/blog/calculer/conception-bioclimatique-lhabitatdu-futur/>
27. fcmicro, 2022, Data-center : Définition et enjeux d'un centre de données,' FC MICRO, 16 April. <https://fcmicro.net/data-center-definition-centre-de-donnees/>.
28. Guillaume Fischer, 2020, « À la découverte de l’architecture bioclimatique », ( data file ), disponibilité et accès : , <https://www.michaelzingraf.com/fr/groupe/blog/architecture/a->
29. ibm, « Qu’est-ce qu’un centre de données ? », », (data file), disponibilité et accès : <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/data-centers>
30. Juvénal JVC, 2011, « Définition du Data center: qu’est-ce qu’un centre de données? », (data file), disponibilité et accès: <https://www.data-transitionnumerique.com/data-center-definition/>
31. L'équipe Choisir.com, 2021, « L’éolienne horizontale », (data file), disponibilité et accès: <https://www.choisir.com/energie/articles/158984/leolienne-horizontale>,

- 32.**Loris GAZUT, 2019 , « Construire bioclimatique avec la végétation » , ( data file ), disponibilité et accès : <https://www.caue974.com/de/portail/356/mediatheque/47714/ecoconstruire-bioclimatique-avec-la-vegetation.html>
- 33.**Marcheteau, G. (2021) « Quels sont les matériaux dans l’architecture bioclimatique ? L’énergie Tout Compris », (data file), disponibilité et accès : [pris.fr/actualites-conseils/quels-sont-les-materiaux-dans-l-architecture-bioclimatique-48249](http://pris.fr/actualites-conseils/quels-sont-les-materiaux-dans-l-architecture-bioclimatique-48249)
- 34.**Mike Schmitt ,2021, “What Is a Green Data Center ?”, (data file), disponibilité et accès : <https://www.nlyte.com/blog/what-is-a-green-data-center/>
- 35.** mission permanente de la France auprès des nations unies à new York ,2023, L’Agenda 2030 de développement durable, (data file), disponibilité et accès : [https://onu.delegfrance.org/L-Agenda-2030-de-developpement-durable,](https://onu.delegfrance.org/L-Agenda-2030-de-developpement-durable)
- 36.**MonKitSolaire, L. (2023), « Quelle est l'orientation optimale pour un panneau solaire ? », (data file), disponibilité et accès : <https://www.monkitsolaire.fr/blog/bien-exposer-son-kit-solaire-les-techniques-indispensables-n82>
- 37.**Oy Windside Production Ltd (2020), “Pearl River Tower in the City of the Immortals”, (data file), disponibilité et accès: <https://windside.com/pearl-river-tower/>
- 38.** Porada, B. (2023), ‘The 'World’s greenest commercial building opens in Seattle today’’, (data file), disponibilité et accès: [https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenestcommercial-building-opens-in-seattle-today,](https://www.archdaily.com/363007/the-world-s-greenestcommercial-building-opens-in-seattle-today) (Page consulté le 23mais 2024), Blida
- 39.**République algérienne démocratique et populaire, 2004, Charte de l’agglomération nouvelle de Sidi Abdellah) (vnsa dz, 2018, VILLE NOUVELLE DE SIDI ABDELLAH, <https://www.vnsa.dz/>)
- 40.** Schmitt, M. (2022 , What is a green data Center? <https://www.nlyte.com/blog/what-is-a-green-data-center/>.
- 41.**SEMJuice ,2021, « Définition SEO de Centre de données », (data file), disponibilité et accès : <https://www.semjuice.com/definition/centre-de-donnees>

42.SPA, I.M.M. (2022) «Les principaux composants d'une éolienne », », (data file), disponibilité et accès: <https://b2bindustry.net/fr/principaux-composants-d'une-%C3%A9olienne-b2bindustries/>

43.Stoecklin, A, « Fonctionnement d'un panneau solaire : tout ce qu'il faut savoir », (data file), disponibilité et accès : <https://www.effy.fr/travaux-energetique/solaire/fonctionnement-panneaux-solaire>

44.TUCOENERGIE, « Tout savoir sur l'inclinaison des panneaux solaires », (data file), disponibilité et accès : <https://www.tucoenergie.fr/guides/inclinaison-panneausolaire>

45.van der Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, R.J. de Dear ,2007, Confort thermique, <https://energieplus-lesite.be/theories/confort11/le-confort-thermique-d1/>

46.Windustry, (pas de date), « Quelle est la taille des éoliennes », (data file), disponibilité et accès : [https://www.windustry.org/how\\_big\\_are\\_wind\\_turbines](https://www.windustry.org/how_big_are_wind_turbines),

47.wikipedia, 2022, « Portail : Énergie renouvelable », (data file), disponibilité et accès : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Portail:%C3%89nergie\\_renouvelable](https://fr.wikipedia.org/wiki/Portail:%C3%89nergie_renouvelable)

48.XPair, « La définition du confort », (data file), disponibilité et accès : <https://www.xpair.com/lexique/definition/confort.htmt>,

49. Youmatter, 2016, « Énergies renouvelables : définition, exemples, avantages et limites », (data file), disponibilité et accès : <https://youmatter.world/fr>, »

50. youmatter, 2023, « Énergies fossiles, définition, exemples, enjeux et impacts écologiques », (Data file), Disponibilité et accès, <https://youmatter.world/fr/definition/energies-fossiles>

### **Thèses et mémoires :**

1.Ahmed Boumaaza Seif Eddine, 2018, « l'efficacité énergétique dans les équipements touristiques, L'intitule hôtel a pilotage écologique Cas d'étude : Mahouna – Guelma »,

2.Mémoire de Master, Université 08 Mai 1945 de Guelma. Ahmed Boumaaza Seif Eddine, Algérie, P 7-8

3.BOUCHAALA Meriem, 2016 « L'amélioration du confort thermique du logement social dans l'optique du développement durable », mémoire de magister, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, Année universitaire 2015-2016, P 12.

4. BOUCHAALA MERIEM, 2016, « L'amélioration du confort thermique du logement social dans l'optique du développement durable », Mémoire de magister, architecture, Université BDI Mokhtar Annaba, Algérie, p34
5. Chouga .Yachir, 2015 , « Simulation et optimisation des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau », mémoire de master, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2015, P36-37
6. DAKHIA Azzedine, 2019, « L'analyse du cycle de vie, comme stratégie de développement d'un bâtiment durable dans les milieux arides à climat chaud et sec, Cas de la ville de Biskra », Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider –Biskra. Algérie, p 24-25.
7. Hamlaoui zeyneb. Rekkab Ahlam. Hamoudi Abdelhalim, 2016, « le confort thermique dans un hôtel », Mémoire de master, architecture, p16
8. MANSOUR Mohammed Amine. BOUKHATEM Sid Ahmed ,2017, efficacité énergétique dans l'habitat intermédiaire à Chlef » mémoire de Master, architecture, Université de Blida 1, Algérie, p10
9. REZIG Mounir Abdelfetah- REGUIG Abdeldjaber , 2018, « Amélioration du confort acoustique d'un centre sportif par intégration d'un système d'isolation », mémoire de master, architecture, Université Saad Dahleb, Algérie, p8.
10. S-A. BELHARRAT, 2010, « Production et gestion de l'énergie solaire photovoltaïque adaptée à une maison », mémoire d'ingénieur d'état, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. 2010, P32
11. TOUMI Nihed , KOUDA Iskandar,2020 , « ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME », <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2022/03/Memoire-Toumi-et-Kouda.pdf>

## Table des figures :

Figure 1: Répartition des énergies renouvelables dans le monde.....	20
Figure 2: Capacités de production d'électricité (en GW) dans le monde à base de ressources renouvelables sur les années 2015 à 2019.....	21
Figure 3: les capacités cumulées d'hydro-électricité installées dans le monde en 2015.....	22
Figure 4 : Projection à l'horizon 2050 de l'évolution des capacités .....	23
Figure 5 : Projection à l'horizon 2050 de l'évolution des capacités cumulées d'éolien en mer (Offshore) installées par région dans le monde.....	23
Figure 6 : Projection à l'horizon 2050 des capacités cumulées de solaire photovoltaïque installées par région dans le monde.....	24
Figure 7 : Gisement solaire de l'Algérie.....	26
Figure 8 : Gisement éolien de l'Algérie.....	26
Figure 9 : Schéma des 4 piliers du développement durable.....	36
Figure 10 : la cours du soleil en été.....	41
Figure 11 : la cours du soleil en hiver.....	41
Figure 12 : semât de la règle de prospect.....	41
Figure 13 : le rôle de la végétation.....	42
Figure 14 : le rôle de la compacité.....	43
Figure 15 : les différents types des matériaux isolants.....	43
Figure 16 : les différents choix de positionnement des ouvertures.....	44
Figure 17 : un type d'avanceses hozisontale (auvent).....	44
Figure 18: Energie solaire thermique.....	46
Figure 19: Le système photovoltaïque.....	47
Figure 20 : Panneau photovoltaïque.....	48

Figure 21 : La batterie.....	48
Figure 22 : Le régulateur.....	48
Figure 23 : L'onduleur.....	49
Figure 24 : Mouvement du soleil par rapport aux deux hémisphères.....	50
Figure 25 : Exemple de rendement entre les diverses orientations possibles pour l'hémisphère nord.....	50
Figure 26 : Les angles de rayonnement solaire durant l'année.....	50
Figure 27 : Le rendement des panneaux photovoltaïques en fonction de l'orientation et l'inclinaison.....	50
Figure 28 : les différentes intensités de rayonnements solaires dans le monde.....	51
Figure 29 : fonctionnement des panneaux photovoltaïques.....	52
Figure 30 : Bullitt Center.....	53
Figure 31 : toiture de Bullitt Center.....	53
Figure 32 : Économie d'énergie solaire.....	54
Figure 33: Pearl River Tower.....	54
Figure 34 : production de l'énergie éolienne.....	55
Figure 35 : Composants d'une éolienne.....	56
Figure 36 : éolienne à axe horizontal.....	58
Figure 37 : éolienne à axe vertical.....	58
Figure 38 : Les leviers de l'efficacité énergétique.....	59
Figure 39: Valeurs de température de l'air ambiant.....	64
Figure 40 : les valeurs des indices de vêtture exprimées en Clo.....	65
Figure 41 : data center.....	66
Figure 42 : Green data center.....	67
Figure 43 : localisation des data centers dans le monde.....	68

Figure 44 : l'organisation des serveurs.....	71
Figure 45 : Projet naver data center.....	72
Figure 46 : village folklorique de Hahoe.....	73
Figure 47 : l'accessibilité de naver data center.....	73
Figure 48 : l'harmonie entre le projet et son context.....	73
Figure 49 : l'idée de forme.....	73
Figure 50 : distribution des espaces.....	73
Figure 51 : la façade de naver data center.....	73
Figure 52 : le système de rideau d'eau.....	74
Figure 53 : système des jardins pluviaux.....	74
Figure 54 : Le déplacement de la chaleur des serveurs.....	74
Figure 55 : la Situation des panneaux photovoltaïques dans le projet de naver.....	74
Figure 56 : L'archipel urbain.....	83
Figure 57 : Le modèle hybride.....	84
Figure 58 : schématisation de la hiérarchisation de la ville.....	86
Figure 59 : Températures moyennes.....	87
Figure 60 : Nombre et répartition des jours de pluie.....	88
Figure 61 : Carte des reliefs.....	88
Figure 62 : Répartition des pentes.....	89
Figure 63 : Carte géologique régionale.....	90
Figure 64 : La Température de la ville de sidi Abdellah.....	91
Figure 65 : Précipitation de ville de Sidi Abdellah .....	92
Figure 66 : Rose de vents de la ville de Sidi Abdellah.....	92
Figure 67 : L'humidité de la ville de Sidi Abdellah.....	93

Figure 68 : Diagramme radar climatique de Sidi Abdellah en hiver.....	93
Figure 69 : Diagramme radar climatique de Sidi Abdellah en été.....	94
Figure 70 : schématisation des voies principale.....	99
Figure 71 : schématisation des voies secondaire.....	100
Figure 72 : Diagramme bioclimatique de Szokolay.....	101
Figure 73 : Le diagramme de de Szokolay (hiver).....	102
Figure 74 : Le diagramme de de Szokolay (été).....	102
Figure 75 : Le diagramme de de Szokolay (les 4 saisons).....	103
Figure 76 : les potentiels solaire et éolienne.....	104
Figure 77 : Modélisation du bâtiment via le logiciel on design builder.....	112
Figure 78 : la situation de la salle des serveurs au R+3 .....	113
Figure 79 : la modélisation de la salle informatique dans le logiciel « design Buil-der ».....	114
Figure 80 : la situation de la salle des serveurs au R+3.....	115
Figure 81 : la modélisation de la salle des serveurs dans le logiciel « design Builder ».....	115
Figure 82 : évolution des courbes de température avant l'affectation des stratégies d'optimisation.....	120
Figure 83 : la température après l'affectation du scénario 1 (isolation du plancher et la toiture .....	121
Figure 84 : la température après l'affectation du scénario 2 (double vitrage).....	122
Figure 85 : la température après l'affectation du scénario 3 (brise soleil).....	122
Figure 86 : la température après l'affectation du scénario 4 (système HVAC) .....	123
Figure 87 : la température avant les modifications.....	124
Figure 88 : Apres les modifications dans le plancher et la toiture.....	124

Figure 89 : température après l'intégration de la fenêtre (simple vitrage).....	125
Figure 90 : Après l'intégration de la fenêtre (double vitrage).....	126
Figure 91 : Après l'intégration du système HVAC.....	126
Figure 92 : la consommation énergétique en kwh/m2.....	128
Figure 93 : Le pourcentage des énergies renouvelables par rapport à la consommation globale de l'énergie.....	129

## Table des tableaux :

Tableau 1 : Les paramètres environnementaux de l'architecture bioclimatiques.....	41
Tableau 2 : Les paramètres architecturaux de l'architecture bioclimatique.....	43
Tableau 3 : Les facteurs affectant le rendement de système photovoltaïque .....	50
Tableau 4 : Les paramètres qui affectent le confort thermique.....	63
Tableau 5 : L'analyse de naver data center.....	73
Tableau 6 : les vocations de Adi Abdellah.....	80
Tableau 7 : les concepts de la ville de Sidi Abdellah.....	83
Tableau 8 : les murs extérieurs à l'état initial.....	116
Tableau 9 : les murs intérieurs à l'état initial.....	116
Tableau 10 : la toiture à l'état initial.....	116
Tableau 11 : le plancher à l'état initial.....	117
Tableau 12 : les modifications dans la toiture.....	117
Tableau 13 : les modifications dans la toiture.....	117
Tableau 14 : les modifications dans le mur rideau.....	118
Tableau 15 : l'intégration des brises soleil.....	118
Tableau 16 : les modifications dans la toiture.....	118
Tableau 17 : les modifications dans le plancher.....	119
Tableau 18 : l'intégration de la fenêtre.....	119
Tableau 19 : doubler le vitrage.....	119
Tableau 20 : Résumé des sources d'énergie renouvelable.....	129

## Table des cartes :

Carte 01 : les diverses énergies renouvelables présentés dans la ville nouvelle de Sidi Abdallah.....	28
Carte 02 : situation de VNSA par rapport à l'Algérie.....	77
Carte 03 : la Carte de situation de la ville de Sidi Abdallah par rapport à la métropole d'Alger .....	77
Carte 4 : la Carte de situation de la ville de Sidi Abdallah par rapport aux communes .....	78
Carte 05 : l'accessibilité à la ville de Sidi Abdallah .....	79
Carte 06 : les pôles de la ville .....	81
Carte 07 : une ville résidentielle .....	82
Carte 08 :la hiérarchisation de la ville de Sidi Abdallah .....	84
Carte 09 : situation du cyber parc.....	94
Carte 10 : les bâtiments existants.....	95
Carte 11 : les bâtiments futurs .....	95
Carte 12 : situation de l'aire d'intervention.....	96
Carte 13 : limitation d'aire d'intervention .....	97
Carte 14 : système viaire .....	98
Carte 15 : système parcellaire .....	99

## **Table des schémas :**

Schéma 01 : méthodologie de travail.....	32
Schéma 02 : la structuration de la mémoire.....	33
Schéma 03 : l'analyse AFOM .....	105
Schéma 04 : le plan d'action .....	106

## Liste des abréviations :

- AIE L'Agence internationale de l'énergie
- PIB Le Produit Intérieur Brut
- CDER Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables
- EPST Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique
- PNEREE Programme nationale dédié au développement et la promotion des énergies renouvelables et l'efficacité Energétique en Algérie
- APRUE Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie
- MTEER Ministère de la Transition Energétique et des Energies Renouvelables
- CREG Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz
- CRTSE Centre de Recherche en Technologies des Semi-conducteurs pour l'Énergétique
- CDTA Centre de Développement des Technologies Avancées
- CREDEG Centre de Recherche et de Développement de l'Électricité et du Gaz
- SPA Société par actions
- CLO Clothing Insulation
- ANPT Agence Nationale de Promotion & de Développement des Parcs Technologiques

## Annexe 01

### Les objectifs de développement durable :

L'agenda ONU<sup>17</sup> a fixé un ensemble des objectifs liés au développement durable, qu'ils visent à mettre en œuvre d'ici 2030 afin d'éliminer la pauvreté dans le monde, de protéger la planète et d'assurer la prospérité de tous les habitants (mission permanente de la France auprès des nations unies à new York ,2023)

Parmi les objectifs les plus importants :

**Tableau 01 : Les objectifs de développement durable**

(Source : ONU,2023)

	Les objectifs
01	Éliminer la pauvreté dans le monde et lutter contre les inégalités sous toutes ses formes.
02	Éliminer la faim et donner accès à une alimentation saine et suffisante pour tous.
03	Assurer la santé et le bien-être de tous.
04	Garantir à tous une éducation de qualité et équitable.
05	Réaliser l'égalité des sexes et mettre fin à toute forme de discrimination et de violence vis-à-vis des femmes.
06	Donner un accès universel et équitable à l'eau potable et en assurer une gestion durable.
07	Donner accès à tous à une énergie durable à un coût abordable.
08	Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable tout en assurant une protection de tous les travailleurs.
09	Favoriser une industrialisation durable ainsi que l'innovation et la recherche scientifique
10	Réduire les inégalités au sein des pays et entre les pays.
11	Réaménager les villes et les établissements humains pour les rendre ouverts à tous et durables.
12	Promouvoir des modes de consommations durables et responsables.
13	Prendre des mesures pour lutter contre les changements climatiques.
14	Exploiter de manière durable et raisonnée les écosystèmes marins et côtiers.
15	Gérer de manière durable les écosystèmes terrestres en préservant la biodiversité et les sols.

<sup>17</sup> L'Agenda 2030 est un programme de développement durable à l'horizon 2030, adopté en septembre 2015 par les 193 États membres de l'ONU. Il vise à éradiquer la pauvreté, assurer une transition vers un développement durable et renforcer la paix pour tous

16 Promouvoir l'Etat de droit, la qualité des institutions et la paix.

17 Promouvoir des partenariats efficaces entre les gouvernements, le secteur privé et la société civile.



Figure 01: Les objectifs du développement durable

(Source : L'Agenda 2030 de développement durable, no date)

## Annexe 02

### Contenu des lois qui encadrent le programme national de maîtrise d'énergie :

**Tableau 02 : Contenu des lois qui encadrent le PNME.**

(Source : BABA SLIMANE Nour El Houda, 2016)

Loi	Contenu
La loi n° 99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie	est une loi qui explique que la mise en œuvre de la maîtrise d'énergie repose sur les obligations, les conditions et les moyens nécessaires suivants : l'introduction des normes et exigences d'efficacité énergétique, l'audit énergétique obligatoire et périodique, le contrôle d'efficacité énergétique, le programme nationale de maîtrise d'énergie, la recherche et le développement, le financement de la maîtrise d'énergie, les mesures d'encouragement et d'incitation, la coordination des actions de maîtrise de l'énergie, l'amélioration de la connaissance des utilisateurs. Toutes ces mesures et actions sont confié à un organisme national compétant au niveau central
La loi n° 02-01 du 5 février 2002, modifiée et complétée	C'est une loi qui a pour objectif de fixer les règles applicables aux activités liées à la production, au transport, à la distribution, à la commercialisation de l'électricité ainsi qu'au transport, à la distribution et la commercialisation du gaz par canalisations. Ces activités sont assurées, selon les règles commerciales, par des personnes physiques ou morales de droits publics ou privé et exercées dans le cadre du service public
La loi n° 04-09 du 14 août 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.	La loi 04-09 du 14 aout 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable. La loi a pour objet de fixer les modalités de promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable. La promotion des énergies renouvelables a pour objectif : 1-de protéger l'environnement, en favorisant le recours à des sources d'énergie non polluantes, 2-de contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique en limitant les gaz à effet de serre, 3-de participer à un développement durable par la préservation et la conservation des énergies fossiles, 4-de contribuer à la politique nationale d'aménagement du territoire par la valorisation des gisements d'énergies renouvelables, en généralisant leurs utilisations.

## Annexe 03

Plans et programme de premier exemple analysée (naver data center) :

**Tableau 03 : programme quantitatif de naver data center**

(Source, auteur)

NIVEAU	ESPACES	SURFACES
L2	Salle électrique (6)	352 / 304.8 / 302.6 / 120 / 458 / 721.6 m <sup>2</sup>
	UPS+BATTERIE (4)	275.7 / 327.9 / 339.5 / 326.7 m <sup>2</sup>
	Salle de conférence (5)	351,5 / 275,5 / 276 / 569.1 / 621.8 m <sup>2</sup>
	Jardin (2)	143.5 / 244.9 m <sup>2</sup>
	Café	405.5m <sup>2</sup>
	Hall d'entrée (3)	397.5 / 413.3 / 519.3 m <sup>2</sup>
	Auditorium	238 m <sup>2</sup>
	Salle informatique	57 m <sup>2</sup>
	Plaza	4460 m <sup>2</sup>
	Breakout (2)	97 / 320.2 m <sup>2</sup>
	le vestiaire	164.5 m <sup>2</sup>
	Piscine	731 m <sup>2</sup>
	Cantine/cuisine du personnel	230.6 m <sup>2</sup>
	Contrôle de sécurité (2)	116.3 / 102 m <sup>2</sup>
	Centre de surveillance	479.8 m <sup>2</sup>
	Soreen / décision / urgences	

**Tableau 04 : programme quantitatif de naver data center**

(Source, auteur)

	Terrasse	1442.5 m <sup>2</sup>
	Exposition breakout	532.2 m <sup>2</sup>
	Jardin d'hiver	1479.2 m <sup>2</sup>
	Quai de chargement	97.3 m <sup>2</sup>
	Salle de déballage	65 m <sup>2</sup>
	Salle d'essais	46.4 m <sup>2</sup>
	Salle de nettoyage (2)	87.6 / 31.5 m <sup>2</sup>
	Salle de sécurité	32 m <sup>2</sup>
L3	Salle électrique (8)	362.5 / 309.7 / 294.9 / 556.7 / 107.8 / 110.6 / 125.8 / 108.5 m <sup>2</sup>
	UPS + BATTERIE (4)	287.1 / 293.8 / 315.3 / 303.4 m <sup>2</sup>
	Salle de conférence	898.4 m <sup>2</sup>
	Jardin (2)	1144.6 / 721.5 m <sup>2</sup>
	Exposition	3275.1 m <sup>2</sup>
	Quai de mise à niveau	84.2 m <sup>2</sup>
	Salle de déballage	63.9 m <sup>2</sup>
	Salle d'essais	63.7 m <sup>2</sup>
	Salle de sécurité	
	Salle de pré-traitement	73.2 m <sup>2</sup>

## Annexes

**Tableau 05 : programme quantitatif de naver data center**

(Source, auteur)

	Bureau du personnel	56.65 m <sup>2</sup>
	Salle des machines (2)	6111.8 / 6043.1 m <sup>2</sup>
	Salle électrique (4)	551.9 / 777.2 / 852.4 / 922.1 m <sup>2</sup>
	Agriculture (4)	102.7 / 105.5 / 97 / 173 m <sup>2</sup>
	salle de classe (3)	131.7 / 117.3 / 115.4 m <sup>2</sup>
	Café	663.9 m <sup>2</sup>
	Bureau R/D	794.8 m <sup>2</sup>
	Hall	63.7 m <sup>2</sup>
	Salle de réunion (2)	111.7 / 116.3 m <sup>2</sup>
	Salle de documents (4)	118.2 / 93.4 / 46.9 / 127.2 m <sup>2</sup>
	Archives (2)	255.5 / 271.2 m <sup>2</sup>
	Gym	277.6 m <sup>2</sup>
	Salon	523.4 m <sup>2</sup>
	Chambre à coucher (4)	26.5 / 30.2 / 28.1 / 30.2 m <sup>2</sup>
	Entretien du bureau/Gestion des facultés	639.3 m <sup>2</sup>
	Jardin d'hiver	1522 m <sup>2</sup>
	Entrepôt	
	Terrain de basket	630 m <sup>2</sup>

**Tableau 06 : programme quantitatif de naver data center**

(Source, auteur)

	Cantine/Cuisine	562.9 m <sup>2</sup>
	Espace public	223.4 m <sup>2</sup>
L4	Salle de serveur (4)	1413.2 / 1398.2 / 1433.2 / 1413.8 m <sup>2</sup>
	Pièce à température et humidité constantes (4)	282.9 / 241 / 267 / 331 m <sup>2</sup>
	Chambre à gaz d'extinction d'incendie	40 m <sup>2</sup>
	EPS/TPS (4)	11.5 / 11.6 / 12.5 / 12.7 m <sup>2</sup>
	Hall de Climatisation (2)	67 / 66.5 m <sup>2</sup>
	PS (4)	19.5 / 17.2 / 16.2 / 15 m <sup>2</sup>
	Agriculture (3)	724 / 875.5 / 258.7 m <sup>2</sup>
	Infrastructure informatique (2)	154.5 / 56 m <sup>2</sup>
	Salle de pré-traitement (5)	66.2 / 64 / 59.5 / 61.6 / 65.9 m <sup>2</sup>
	Bureau de personnels (5)	52 / 53.7 / 55.7 / 44.8 / 55 m <sup>2</sup>
	Dortoir	
	SKY Jardin	
	Looby	68.2 m <sup>2</sup>
	Salle des génératrices (6)	1575.3 / 1469 / 2038.7 / 1542.6 / 1388.8 / 2027.8 m <sup>2</sup>
	UPS-batterie (4)	138.8 / 130 / 180.8 / 180.5 m <sup>2</sup>
	Quai bas	

## Annexes

**Tableau 07 : programme quantitatif de naver data center**

(Source, auteur)

	Salle de déballage	
	Salle d'essais	
	Salle de sécurité	
	salles de classe (4)	257.2 / 122.7 / 118 / 106.9 m <sup>2</sup>
	Jardin sur le toit (2)	269.8 / 292.9 m <sup>2</sup>
	Bureau R/D	685 m <sup>2</sup>
	Salle de réunion (2)	125.57 / 89 m <sup>2</sup>
	Archives	130.68 m <sup>2</sup>
	Hall	229.2 m <sup>2</sup>
	Salon	333.8 m <sup>2</sup>
	Salle d'activité	294 m <sup>2</sup>
	Jardin	200.6 m <sup>2</sup>
	Bibliothèque	461.8 m <sup>2</sup>
L5	Salle de serveur (4)	1462 / 1413 / 1476.5 / 1413 m <sup>2</sup>
	Pièce à température et humidité constantes (4)	296.7 / 351.5 / 323.2 / 318.9 m <sup>2</sup>
	Chambre à gaz d'extinction d'incendie (3)	43.7 / 42.5 / 42.2 m <sup>2</sup>
	EPS/TPS (6)	14.6 / 13.5 / 11.9 / 12.1 / 12.2 / 12.33 m <sup>2</sup>
	Hall de climatisation (3)	69.4 / 67.1 / 63.8 m <sup>2</sup>

**Tableau 08 : programme quantitatif de naver data center**

(Source, auteur)

	PS (6)	16.5 / 18.2 / 17.5 / 16.5 / 14 / 15.8 m <sup>2</sup>
	Agriculture (3)	730.4 / 763.7 / 754.6 m <sup>2</sup>
	Infrastructure informatique (3)	155.3 / 155.5 / 155.7 m <sup>2</sup>
	Salle de pré-traitement (6)	74.5 / 66.5 / 69 / 69.7 / 70.8 / 69 m <sup>2</sup>
	Bureau de personnels (6)	54.6 / 57.2 / 57.6 / 59.4 / 62.1 / 61.3 m <sup>2</sup>
	Dortoir	
	SKYJardin	
	Salle électrique/ UPS+BATT (5)	1906.5 / 2032 / 1996.8 / 2034 / 2189.4 m <sup>2</sup>
	Jardin d'hiver (2)	44.5 / 33 m <sup>2</sup>
	Bureau R/D	676 m <sup>2</sup>
	Salle de réunion	120.8 m <sup>2</sup>
	Salle des documents	124.4 m <sup>2</sup>
	Jardin sur le toit	157.35 m <sup>2</sup>
L6	Salle de serveur (7)	1404.4 / 1423.4 / 1405.4 / 1398.7 / 1404.6 / 1401.2 / 1389 m <sup>2</sup>
	Pièce à température et humidité constantes (7)	297.5 / 349.5 / 312.9 / 349.8 / 337 / 308.7 / 337.5 m <sup>2</sup>
	Chambre à gaz d'extinction d'incendie (5)	39.3 / 43.2 / 41.5 / 40.8 / 40.8 m <sup>2</sup>
	EPS/TPS (10)	13.2 / 11 / 10 / 11.5 / 13.6 / 12 / 11.6 / 10.8 / 12.2 / 11.7 m <sup>2</sup>
	Hall de climatisation (5)	66.7 / 69.8 / 69.7 / 71.8 / 69.6 m <sup>2</sup>

## Annexes

### Tableau 09 : programme quantitatif de naver data center

(Source, auteur)

	PS (10)	17.5 / 16 / 17.6 / 16.5 / 17.7 / 15.7 / 17.3 / 18 / 17.35 / 16.9 m <sup>2</sup>
	Agriculture (2)	746.7 / 749 m <sup>2</sup>
	Infrastructure informatique (2)	155.6 / 156.2 m <sup>2</sup>
	Salle de pré-traitement (4)	76.6 / 72.3 / 66.9 / 69.5 m <sup>2</sup>
	Bureau de personnels (4)	62.3 / 57 / 59.3 / 63.7 m <sup>2</sup>
	Dortoir	
	SKYJardin	
L7	Salle de serveur (6)	1404.4 / 1423.4 / 1405.4 / 1398.7 / 1404.6 / 1401.2 m <sup>2</sup>
	Pièce à température et humidité constantes (6)	297.5 / 349.5 / 312.9 / 349.8 / 337 / 308.7 m <sup>2</sup>
	Chambre à gaz d'extinction d'incendie (4)	39.3 / 43.2 / 41.5 / 40.8 m <sup>2</sup>
	EPS/TPS (8)	13.2 / 11 / 10 / 11.5 / 13.6 / 12 / 11.6 / 10.8 m <sup>2</sup>
	Hall de climatisation (4)	66.7 / 69.8 / 69.7 / 71.8 m <sup>2</sup>
	PS (8)	17.5 / 16 / 17.6 / 16.5 / 17.7 / 15.7 / 17.3 / 18 m <sup>2</sup>
	Agriculture (2)	746.7 / 749 m <sup>2</sup>
	Infrastructure informatique (2)	155.6 / 156.2 m <sup>2</sup>
	Salle de pré-traitement (4)	76.6 / 72.3 / 66.9 / 69.5 m <sup>2</sup>
	Bureau de personnels	
	Dortoir	

### Tableau 10 : programme quantitatif de naver data center

(Source, auteur)

	SKYJardin	
L8	Salle de serveur (4)	1423.4 / 1405.4 / 1398.7 / 1404.6 m <sup>2</sup>
	Pièce à température et humidité constantes (3)	312.9 / 349.8 / 337 m <sup>2</sup>
	Chambre à gaz d'extinction d'incendie (2)	41.5 / 40.8 m <sup>2</sup>
	EPS/TPS (4)	13.6 / 12 / 11.6 / 10.8 m <sup>2</sup>
	Hall de climatisation (2)	69.7 / 71.8 m <sup>2</sup>
	PS (4)	17.7 / 15.7 / 17.3 / 18 m <sup>2</sup>
	Agriculture (2)	749 / 156.2 m <sup>2</sup>
	Infrastructure informatique (2)	66.9 / 69.5 m <sup>2</sup>
	Salle de pré-traitement (2)	59.3 / 63.7 m <sup>2</sup>
	Bureau de personnels	
	Dortoir	
	SKYJardin	
L9	Dortoir	
	SKYJardin	

Les plans de naver data center :

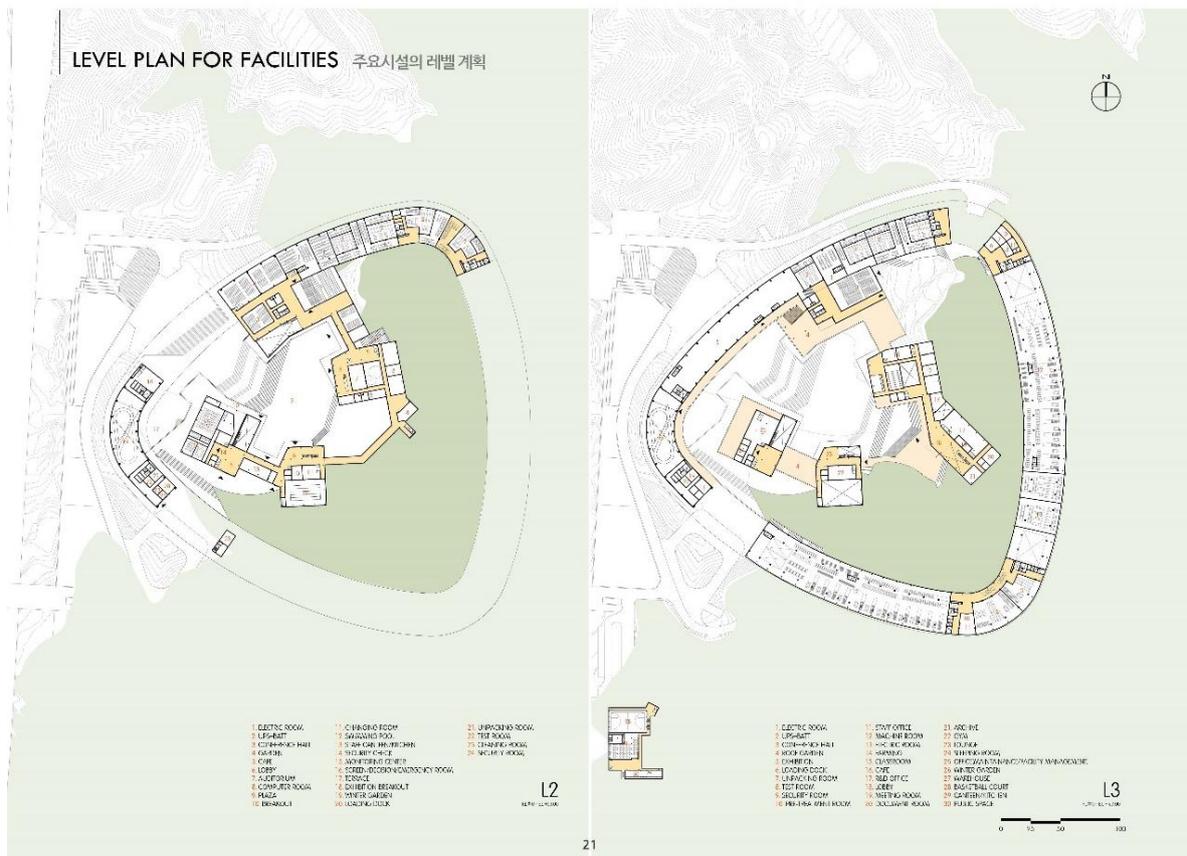


Figure 01 : Les plans de niveau L2 et L3

(Source : Darcy Chang, 2019)

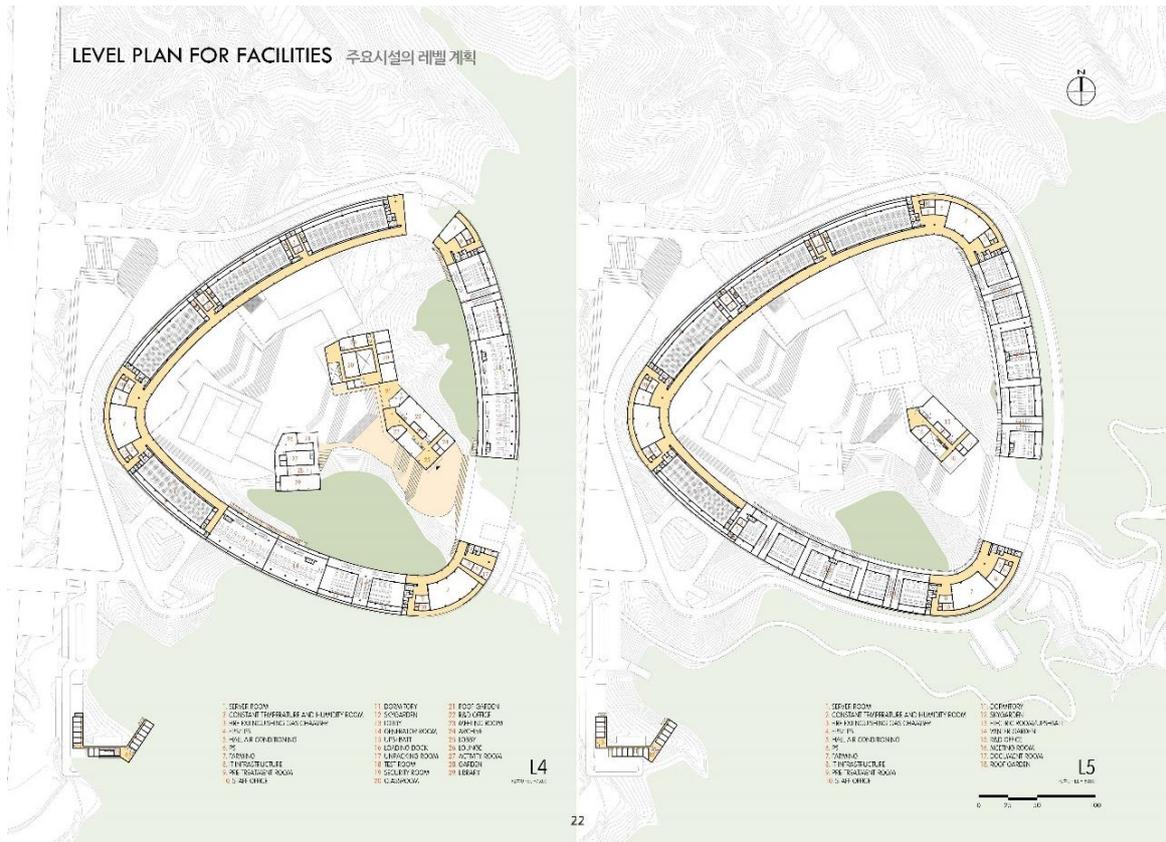


Figure 02 : Les plans de niveau L4 et L5

(Source : Darcy Chang, 2019)

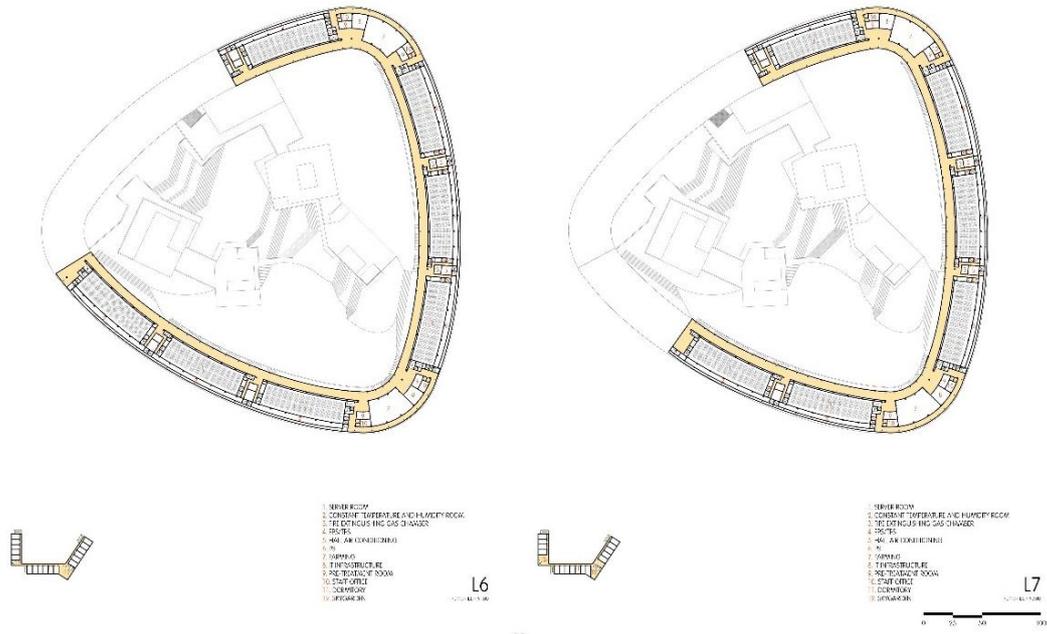


Figure 03 : Les plans de niveau L6 et L7

(Source : Darcy Chang, 2019)

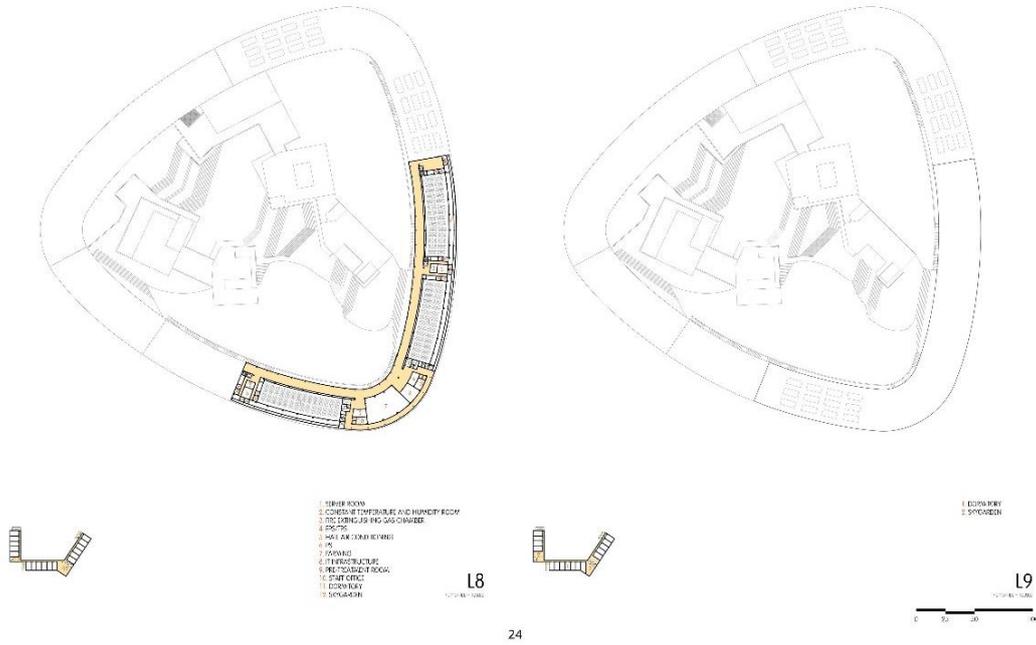
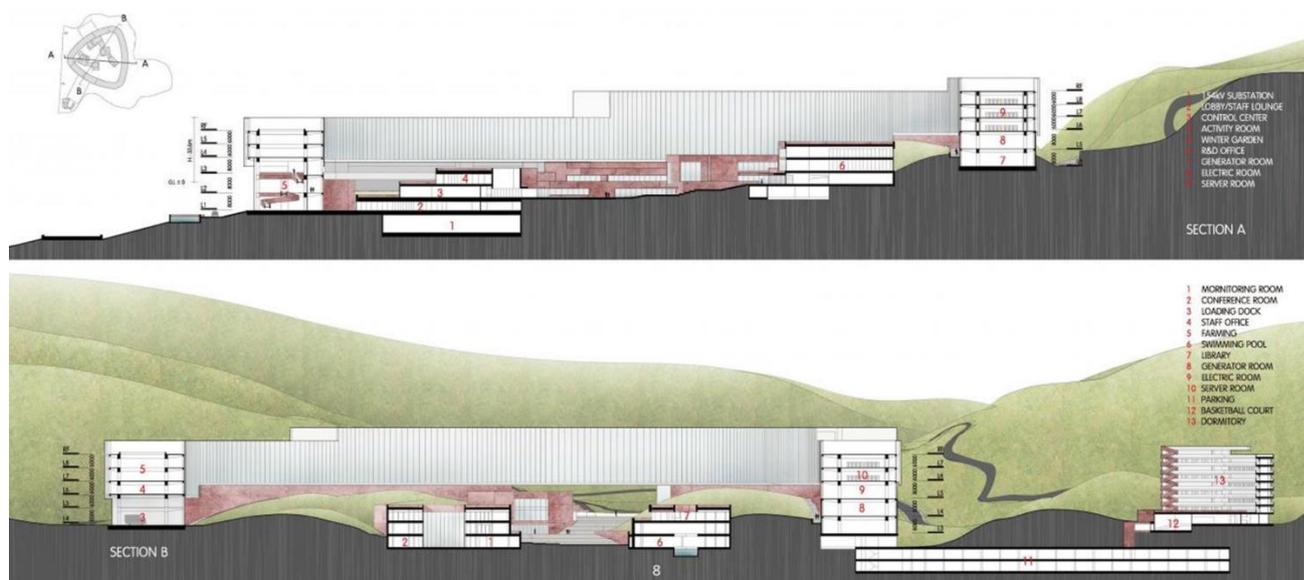


Figure 04 : Les plans de niveau L8 et L8

(Source : Darcy Chang, 2019)



**Figure 05 : Les coupes de naver data center**

(Source : Darcy Chang, 2019)

**Programme de deuxième exemple analysée ( Bahance data center ) :**

**Tableau 11 : programme quantitatif de Bahance data center**

(Source, auteur)

EDIFICE	ESPACES	SURFACES	
L' Extérieur	Cabines d'accès	61.70 m <sup>2</sup>	
	Stationnement	1814.49 m <sup>2</sup>	
	Infirmierie	27.95 m <sup>2</sup>	
	Salle de travail	102.85 m <sup>2</sup>	
	Atelier spécial	35.95 m <sup>2</sup>	
	Administration	71.28 m <sup>2</sup>	
	Salle à manger	126.57 m <sup>2</sup>	
	Toilettes pour hommes	30.95 m <sup>2</sup>	
	Toilettes pour femmes-	30.95 m <sup>2</sup>	
	Terrasses (2)	53.32 m <sup>2</sup>	
	Salons (4)	351.14 m <sup>2</sup>	
	Zone d'étude	28.00 m <sup>2</sup>	
	Bureaux (1 et 2 étages CECATE)	Bureaux ouverts	812.57 m <sup>2</sup>
		Salles de conférence (3)	167.18 m <sup>2</sup>
Bureaux privés (5)		162.75 m <sup>2</sup>	
Toilettes pour hommes (2)		52.79 m <sup>2</sup>	

**Tableau 12 : programme quantitatif de Bahance data center**

(Source, auteur)

	Toilettes pour femmes (2)	52.79 m <sup>2</sup>
	Cave	28.64 m <sup>2</sup>
	Salle à manger (2)	61.50 m <sup>2</sup>
	Bureaux semi-privés (2)	138.12 m <sup>2</sup>
Bâtiment C	Salle de réception	10.96 m <sup>2</sup>
	Toilettes pour femmes (3)	20.91 m <sup>2</sup>
	Toilettes pour hommes (3)	19.50 m <sup>2</sup>
	Salle de sécurité	45.00 m <sup>2</sup>
	Caves à vin	11.84 m <sup>2</sup>
	Terrasses	137.68 m <sup>2</sup>
	Salle de séjour	39.00 m <sup>2</sup>
	Salle des machines (2)	129.48 m <sup>2</sup>
Centre de données	Toilettes pour femmes	11.40 m <sup>2</sup>
	Toilettes pour hommes	11.40 m <sup>2</sup>
	Intendance	7.49 m <sup>2</sup>
	Salle des ordinateurs	2575.87 m <sup>2</sup>
	Chambre de SAN	73.39 m <sup>2</sup>
	Salle de MDA	67.03 m <sup>2</sup>

**Tableau 13 : programme quantitatif de Bahance data center**

(Source, auteur)

	Salle des machines	69.34 m <sup>2</sup>
	Caves (3)	415 m <sup>2</sup>
	Quatrième télécommunications	78.78 m <sup>2</sup>
	Quatrième opération	78.78 m <sup>2</sup>
	Réception et envois	294.85 m <sup>2</sup>
	Docks chargement et déchargement	39.37 m <sup>2</sup>
	Bureaux privés (2)	26.10 m <sup>2</sup>
	Salle d'essai	75.26 m <sup>2</sup>
CECATE RDC	Cave	27.82 m <sup>2</sup>
	Infirmierie	35.95 m <sup>2</sup>
	Salle de travail	27.95 m <sup>2</sup>
	Atelier spécial	102.85 m <sup>2</sup>
	Administration	71.28 m <sup>2</sup>
	Salle à manger	126.57 m <sup>2</sup>
	Toilettes pour hommes	30.95 m <sup>2</sup>
	Toilettes pour femmes	30.95 m <sup>2</sup>
	Terrasses (2)	53.32 m <sup>2</sup>
	Salons (4)	351.14 m <sup>2</sup>

