



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

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA -01-  
INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME  
Département d'Architecture

**Rapport de Soutenance de Master Professionnel en efficacité**  
**énergétique dans les bâtiments.**

**Système de construction modulaire pliables offrant**  
**une haute efficacité énergétique pour les bâtiments**

**PFE : Ecole Primaire DOCTEUR SAADAN**

Présenté par :

BOULABBAS Mohamed Islam,  
Matricule : 171732056485

Encadré(e)(s) par :

MAHMOUDI Abdelhafid (MCB)  
OUAKACI Soumia (MCB)

Membres du jury :

Présidente: SAYADE Bouthaina (MCB)  
Examineur: OULDZEMIRELI Abd El moumen(MAA)

Année universitaire : 2023/2024

## **Remerciement**

Après deux années passées dans notre institut et ce master professionnel en efficacité énergétique dans le bâtiment, durant lesquelles nous avons vécu des moments inoubliables, jour et nuit, explorant tous ses recoins, nous tenons à exprimer notre gratitude.

Nous remercions d'abord Dieu Tout-Puissant, qui nous a permis d'atteindre ce niveau et de suivre cette voie.

À nos chers pères et mères, nos frères bien-aimés et nos honorables sœurs, nous vous adressons tout notre amour et reconnaissance. Aucun mot ne pourra jamais exprimer pleinement notre gratitude pour ce que vous méritez.

Nos remerciements vont également à tous les professeurs de ce master, sous la direction desquels nous avons étudié ces deux dernières années.

Nous exprimons notre reconnaissance à la GIZ et à RENAC pour leur accompagnement et leur formation.

Nous n'oublierons jamais les merveilleuses personnes rencontrées durant ce parcours. À nos amis fidèles, nous disons merci pour les attitudes positives et les moments partagés ensemble.

Nous adressons aussi nos remerciements à Dr MAHMOUDI Abdelhafid, Dr OUAKACI Soumia et Dr Dalel KAOUA. Leur précieux encadrement a été essentiel à la réalisation de ce travail scientifique.

Enfin, nous remercions les honorables membres du comité de jury, Dr SAYADE Bouthaina et Dr OULDZEMIRELI Abd El Moumen, d'avoir aimablement accepté de discuter de ce mémoire de master

**BOULABBAS Mohamed Islam**

## PRÉAMBULE

Le taux de chômage en Algérie ne cesse d'augmenter depuis des décennies dû principalement à un manque de compétences transversales (Soft Skills) des jeunes diplômés mais également à une formation répondant de moins au moins aux besoins du marché de l'emploi, un marché qui s'oriente désormais vers une transitions énergétique et environnementale visant d'alléger la pression sur l'environnement et la protection de ses ressources.

C'est dans ce contexte que la formation du master professionnalisant « *efficacité énergétique dans le bâtiment* » s'inscrit et plus particulièrement dans le cadre de la mise en œuvre du projet AEDA « amélioration de l'employabilité des diplômés des formations professionnels et universitaires en Algérie » qui est financé par le ministère fédéral de la coopération économique et du développement allemand (BMZ- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung).

L'objectif principal de la formation est d'améliorer l'employabilité des jeunes diplômés dans les domaines professionnels ayant un lien avec l'efficacité énergétique du bâtiment et la gestion de l'énergie. La formation est axée principalement sur la pratique et le renforcement des compétences transversales (Soft-skills).

La formation a été mise en place en vue de mettre à la disposition du marché local, régional et national des spécialistes pouvant intervenir dans le domaine de la réduction de la consommation énergétique des bâtiments. Plus particulièrement, l'apprenant au terme de cette formation est en mesure de participer à l'élaboration de diagnostics énergétiques en rapport à la « performance énergétique et environnementale du bâtiment » et participer pleinement à l'élaboration des projets au sein des équipes pluridisciplinaires. L'apprenant a été également formé pour pouvoir mener des travaux de recherche et de développement en entreprise en adoptant des actions à entreprendre avec plus de professionnalisme et efficacité dans la gestion des problèmes environnementaux.

La formation élaborée est orientée pour préparer un cadre possédant les compétences requises pour prendre en charge une multitude de missions et des tâches diverses telle que:

- Une conception environnementale : en incluant, notamment, les obligations réglementaires liées aux multiples certifications nationales (DTR et autres) ou internationales (HQE, BBC, Passivhaus....) ainsi que l'incorporation des énergies renouvelables.
- Une optimisation énergétique du bâti : en incorporant des solutions pragmatiques basées sur des approches unifiées de la faisabilité du projet (la construction) et de son efficacité énergétique ainsi que du choix avisé des matériaux.
- Un management efficient des projets : en associant les dispositifs de gestion technique de projets à des notions portant sur les transactions et droit de l'édifice, le montage financier et la conduite opérationnelle des projets.
- Une administration intelligente des équipements techniques : en insérant des solutions adéquates, fondées sur les nouveaux procédés de communication, de régulation et de contrôle pour améliorer le fonctionnement de ces équipements ainsi que leurs

interdépendances avec l'occupant.

- Application transversale des connaissances interdisciplinaires acquises lors de la formation.
- Appui à la gestion de projets : prise en compte des impératifs techniques et de l'environnement industriel avec une vision globale du projet.
- Soutien au Chef de Projet : mécanismes de management, la délégation des tâches, la formulation des messages.
- Travail en équipe : entrevue, échange, organisation et complémentarité au sein de l'équipe.
- Aptitudes : rectitude, autogestion, efficacité, jugement, esprit de synthèse.
- Capacité à travailler avec des groupes multidisciplinaires pour créer des solutions

Au cours de ces deux années universitaires 2022/2023 et 2023/2024, les apprenants ont reçu une formation aussi diverse qu'enrichissante par des experts nationaux et internationaux notamment allemands tout en effectuant des stages dans des centres de recherche et des bureaux spécialisés, ce qui leur a permis de développer différentes thématiques pour leur projets de soutenances traitant la réhabilitation énergétique, la diversité climatique et son impact sur l'efficacité énergétique, les matériaux et systèmes modulaires innovants, les systèmes CVC, les systèmes passifs de refroidissement, le mur solaire, la façade vitrée, l'optimisation de la consommation énergétique des bâtiments et la conversion des bâtiments abandonnés en bâtiments plus durables et écologiques.

Le défi à relever était difficile mais capital pour préserver notre environnement, réduire les impacts générés par nos bâtiments, optimiser leurs comportements thermique et énergétique pour une préservation optimale de nos ressources environnementales et surtout pour contribuer à la transition énergétique et environnementale qui est au cœur de la politique nationale.

Les objectifs ont été finalement atteints et le défi a été relevé avec succès!

Dr.KAOULA Dalel  
Responsable du master professionnalisant  
« Efficacité énergétique dans le bâtiment »

## **RESUME:**

La problématique du secteur du Bâtiment en Algérie, qui consomme plus de 47 % de la production énergétique nationale, nécessite des solutions novatrices pour améliorer l'efficacité énergétique.

Les systèmes de construction modulaire pliables émergent comme une réponse prometteuse, révolutionnant la conception, la construction et l'utilisation des structures. En intégrant des principes de durabilité, de rapidité d'exécution, d'efficacité énergétique et de flexibilité, ces systèmes offrent une approche moderne pour répondre aux défis énergétiques du secteur.

Cette étude a pour objectif d'éclairer les décideurs, les professionnels du secteur de la construction et les chercheurs sur le potentiel des systèmes de construction modulaire pliables en matière d'efficacité énergétique et de durabilité. Elle vise également à stimuler la réflexion sur l'avenir de notre environnement bâti, encourageant ainsi une transition vers des pratiques plus durables.

**Mots clés** : construction modulaire pliable, durabilité, architecture bioclimatique, confort thermique, efficacité énergétique.

## **ABSTRACT:**

The problem of the building sector in Algeria, which consumes more than 47% of national energy production, requires innovative solutions to improve energy efficiency.

Collapsible modular construction systems emerge as a promising response, revolutionizing the design, construction and use of structures. By integrating principles of sustainability, speed of execution, energy efficiency and flexibility, these systems offer a modern approach to meet the energy challenges of the sector.

The aim of this study is to inform decision-makers, construction professionals and researchers about the potential of foldable modular construction systems for energy efficiency and sustainability. It also aims to stimulate reflection on the future of our built environment, thus encouraging a transition to more sustainable practices.

**Keywords:** foldable modular construction, durability, bioclimatic architecture, thermal comfort, energy efficiency.

## ملخص:

مشكلة قطاع البناء في الجزائر، الذي يستهلك أكثر من 47% من الإنتاج الطاقوي الوطني، تتطلب حلاً مبتكراً لتحسين الكفاءة الطاقية.

تظهر أنظمة البناء المرنة المجهزة كحلاً واعداً، محدثة ثورة في التصميم والبناء واستخدام الهياكل. من خلال دمج مبادئ الاستدامة والسرعة في التنفيذ والكفاءة الطاقية والمرونة، تقدم هذه الأنظمة نهجاً حديثاً لمواجهة التحديات الطاقية في القطاع.

تهدف هذه الدراسة إلى توجيه اتخاذ قرار المهنيين في قطاع البناء والباحثين حول إمكانيات أنظمة البناء المرنة المجهزة من حيث الكفاءة الطاقية والاستدامة. كما تهدف أيضاً إلى تعزيز التفكير في مستقبل بيئتنا المبنية، مشجعة بذلك الانتقال إلى ممارسات أكثر استدامة.

**كلمات مفتاحية:** بناء مرن مجمع، استدامة، عمارة بيئية، راحة حرارية، كفاءة طاقية

# Table des matières

## Chapitre 1 : introductif

1.	Introduction .....	1
2.	Problématique général .....	3
3.	Problématique spécifique.....	3
4.	Les Objectifs.....	4
5.	Les hypothèses.....	4
6.	Méthodologie de Travail.....	5

## Chapitre 2 : Chapitre 2: Cas d'étude, description du projet et méthode utilisée

1.	Présentation du système.....	7
1.1	. Modules Préfabriqués :.....	7
1.2.	Conception Pliable : .....	7
1.3.	Assemblage Simplifié sur Site : .....	7
2.	Le design du système de construction modulaire pliable .....	7
2.1.	Grands Modules : .....	8
2.2.	Modules Moyens : .....	9
2.3.	Petits Modules : .....	10
2.4.	Regroupement des Modules : .....	11
3.	Présentation de l'aire d'étude : .....	12
3.1.	Situation .....	12
3.2.	Ecole Primaire DOCTEUR SAADAN.....	13
4.	Analyse Climatique .....	14
4.1.	Température : .....	14
4.2.	La précipitation : .....	14
4.3.	Ensoleillement : .....	15
4.4.	Les Vents : .....	15
4.5.	L'humidité : .....	15
5.	Analyse bioclimatique .....	16
5.1.	Diagramme de Givioni : .....	16
5.2	Recommandation du diagramme de Givioni : .....	16
6.	Conceptualisation du projet : .....	17
6.1.	Programme du projet : .....	17
6.2.	Tracé des Limites du Terrain : .....	17
6.3.	Utilisation de la Trame selon les Dimensions des Modules Préfabriqués : .....	18



6.4.	Conception du Projet avec les Modules Pliables :.....	19
6.5.	Identification des Matériaux Utilisés dans les Modules :.....	19
6.6.	Orientation et Conception selon l'Ensoleillement et les Directions des Vents :.....	20
6.7.	Identification des Entités et Positionnement des Fonctions des Espaces :.....	20
6.8.	Utilisation du béton renforcé de fibres de verre (GRC) .....	21
7.	Méthodologie de simulation et logiciel utilisé.....	21
7.1.	Présentation du logiciel de simulation : .....	21
7.2.	Méthodologie de Simulation : .....	23
7.3.	Simulation des modules .....	24
7.3.1.	Optimisation (Simulation Paramétrique).....	24
7.3.2.	Principaux objectifs.....	24
7.3.3.	Variables de la conception .....	25

### **Chapitre 3 : Résultats obtenus et discussion**

1.	Résultat et interprétation (les modules) .....	27
1.1.	Climat méditerranéenne (Alger) – Optimisation.....	27
1.1.1.	Usage du bâtiment – espace éducatif .....	27
1.1.2.	Usage du bâtiment – espace résidentiel.....	29
1.1.3.	Usage du bâtiment – espace bureau/workshop.....	31
1.2.	Climat continentale (Tiaret) – Optimisation.....	33
1.2.1.	Usage du bâtiment – espace éducatif .....	33
1.2.2.	Usage du bâtiment – espace résidentiel.....	35
1.2.3.	Usage du bâtiment – espace bureau/workshop.....	37
1.3.	Climat Saharienne (Adrar) – Optimisation.....	39
1.3.1.	Usage du bâtiment – espace éducatif .....	40
1.3.2.	Usage du bâtiment – espace résidentiel.....	42
1.3.3.	Usage du bâtiment – espace bureau/workshop.....	44
2.	Résultat et interprétation (Le projet : école primaire).....	46
2.1.	Les paramètres d'optimisation du Climat continentale (Tiaret).....	46
2.2.	Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation .....	46
2.3.	Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air).....	47
2.4.	Consommation d'énergie et l'émissions de GES .....	48

## **Liste des figures :**

Figure 1.Population, total - Algérie (source : banque mondiale) .....	1
Figure 2.Consommation d'électricité (KWh par habitant) – Algérie source : banque mondiale. 1	
Figure 3.Consistance du programme de développement des énergies renouvelables source : ministère de l'énergie, publié en décembre 2015. ....	1
Figure 4.Les émissions de CO2 à éviter à l'horizon 2030 source : ministère de l'énergie, publié en décembre 2015.....	1
Figure 5.La chronologie de la RRC en Algérie source : Pour une Algérie Résiliente, l'UNISDR, publiée en Mars 2013 .....	2
Figure 6.Les étapes de pliage - Plans - Grand Module source: auteur .....	8
Figure 7.Les étapes de pliage - Axonométrie - Grand Module source: auteur.....	8
Figure 8.La première et la dernière étapes - Grand Module.....	8
Figure 9.Les étapes de pliage - Plans - Module Moyen source: auteur.....	9
Figure 10.Les étapes de pliage - Axonométrie - Module Moyen source: auteur .....	9
Figure 11.La première et la dernière étapes - Module Moyen Source : auteur .....	9
Figure 12.Les étapes de pliage - Plans – Petit Module source: auteur .....	10
Figure 13.Les étapes de pliage - Axonométrie - Petit Module source: auteur .....	10
Figure 14.La première et la dernière étapes - Petit Module Source : auteur .....	10
Figure 15. Regroupement des Module - Plan Source: auteur.....	11
Figure 16.Regroupement des module- Axonométrie Source : auteur .....	11
Figure 17.Situation de wilaya de tiaret Source:Google earth.....	12
Figure 18.La carte de délimitation de Tiaret Source : auteur .....	12
Figure 19. Vue aérien de la ville de Ksar chelalla Source : Google earth.....	12
Figure 20. Carte de la zone d'intervention et l'environnement immédiat Source : google earth traite pare l'auteur .....	13
Figure 21.Carte représentant les espace dans l'école primaire source : auteur.....	14
Figure 22.Graphe de Température Source : météonorme .....	14
Figure 23.Graphe des précipitations source : météonorme. ....	14
Figure 24.Graphe de durée de l'ensoleillement source : météonorme .....	15
Figure 25. La Rose des vents pendant la période hivernal Source : auteur.....	15
Figure 26.la Rose des vent pendant la période estival Source: auteur .....	15
Figure 27.les limite de terrain d'intervention Source : auteur .....	18
Figure 28.La trame utilise dans le projet Source : auteur.....	18
Figure 29.Utilisation des modules pour la conception Source :auteur.....	19
Figure 30.Les materiaux utilise Dans les modules Source : auteur.....	19
Figure 31.L'orientation du bâtiment vers le Sud Source: auteur .....	20
Figure 32.L'Identification des entités du projet Source: auteur.....	20
Figure 33.L'utilisation du GRC dans les facades (1) Source:auteur.....	21
Figure 34.L'utilisation du GRC dans les façades (2) Source: auteur.....	21
Figure 35.Fonctionnalité du logiciel designbuilder source : www.batisim.net.....	22
Figure 36.Methodologie de simulation source: auteur.....	23
Figure 37.Les résultat de Simulation -Senario1 Source:designBuilder traite par l'auteur.....	27
Figure 38.Les résultat de Simulation -Senario2 Source:designBuilder traite par l'auteur.....	28
Figure 39.La consommation énergétique et les émissions GES Source:designBuilder traite par l'auteur.....	28
Figure 40.Les résultat de Simulation -Senario1 Source:designBuilder traite par l'auteur.....	29
Figure 41.Les résultat de Simulation -Senario2 Source:designBuilder traite par l'auteur.....	30
Figure 42.La consommation énergétique et les émissions GES Source:designBuilder traite par l'auteur.....	30
Figure 43.Les résultat de Simulation -Senario1 Source:designBuilder traite par l'auteur.....	31

Figure 44.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	32
Figure 45.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	32
Figure 46.Les résultat de Simulation -Senario1	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	33
Figure 47.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	34
Figure 48.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	35
Figure 49.Les résultat de Simulation -Senario1	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	35
Figure 50.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	36
Figure 51.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	37
Figure 52.Les résultat de Simulation –Senario1	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	37
Figure 53.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	38
Figure 54.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	39
Figure 55.Les variable de la conception - climat Saharienne (Adrar)	source:designBuilder traite par l'auteur.....	39
Figure 56.Les résultat de Simulation –Senario1	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	40
Figure 57.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	40
Figure 58.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	41
Figure 59.Les résultat de Simulation –Senario1	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	42
Figure 60.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	42
Figure 61.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	43
Figure 62.Les résultat de Simulation –Senario1	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	44
Figure 63.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	44
Figure 64.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	45
Figure 65.representant la modélisation du projet dans logiciel DesignBuilder	Source:DesignBuilder traite par l'auteur.....	46
Figure 66.Les résultat de Simulation -Senario1	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	46
Figure 67.Les résultat de Simulation -Senario2	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	47
Figure 68.La consommation énergétique et les émissions GES	Source:designBuilder traite par l'auteur.....	48

### **Liste des tableaux :**

Tableau 1.representant l'humidité dans la zone d'intervention	source : Climat Consultant traite par auteur.....	15
Tableau 2.Diagramme de Givioni	source : Climateconsultant.....	16
Tableau 3.les recommandation du diagramme de Givioni	source : Climat consulting traite par auteur.....	17
Tableau 4.Programme quantitative et qualitative du projet	Source : auteur.....	17
Tableau 5.Les variable de la conception	Source : auteur.....	25
Tableau 6.les variable de la conception - climat méditerranéen (Alger)	source:designBuilder traite par l'auteur.....	27
Tableau 7.Les variable de la conception - climat Continental (Tiaret)	source:designBuilder traite par l'auteur.....	33
Tableau 8.Les variable de la conception - climat Continental (Tiaret)-Projet école primaire	source:designBuilder traite par l'auteur.....	46

# **Chapitre 1: introductif**

# 1. Introduction

Le secteur de la construction est en progressive évolution, cherchant à s'adapter aux défis du 21e siècle tels que la croissance de la population, l'urbanisation rapide, les préoccupations environnementales et la nécessité d'une efficacité énergétique accrue.

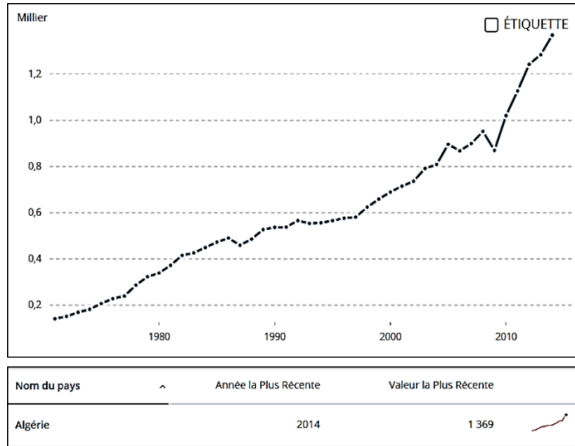


Figure 2. Consommation d'électricité (KWh par habitant) – Algérie source : banque mondiale

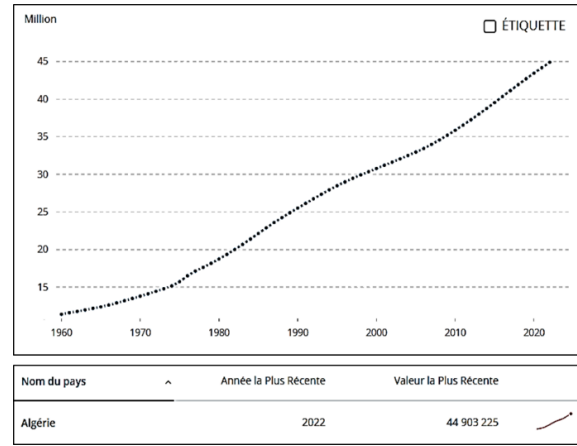


Figure 1. Population, total - Algérie (source : banque mondiale)

L'Algérie entame un mouvement vers l'énergie propre en lançant un ambitieux programme de développement des énergies renouvelables (EnR) et de l'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement algérien repose sur une stratégie visant à exploiter de manière optimale les ressources inépuisables pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'avenir de l'Algérie. Grâce à la conjugaison d'initiatives et de savoir-faire, l'Algérie se lance dans une nouvelle ère énergétique durable. (Energies Nouvelles Renouvelables et Maitrise de l'Energie, Ministère de L'énergie et des Mines Algérie [www.energy.gov.dz](http://www.energy.gov.dz))

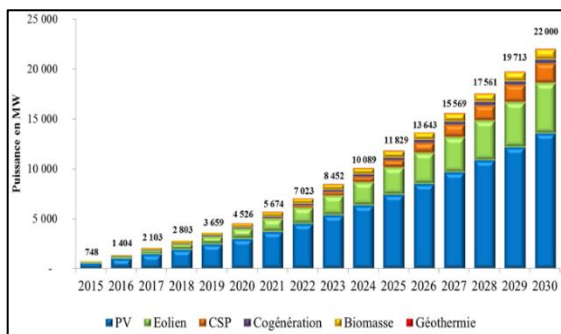


Figure 3. Consistance du programme de développement des énergies renouvelables source : ministère de l'énergie, publié en décembre 2015.

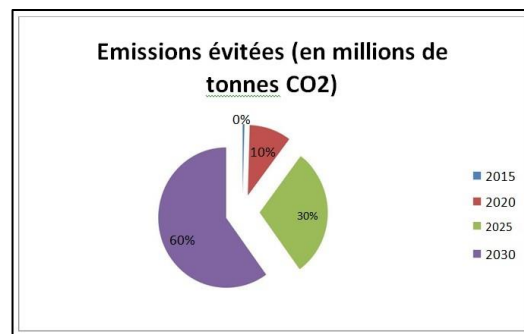


Figure 4. Les émissions de CO2 à éviter à l'horizon 2030 source : ministère de l'énergie, publié en décembre 2015.

Le programme d'efficacité énergétique actualisé vise à réaliser des économies d'énergie importantes d'ici 2030, soit environ 63 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP). Il couvre divers secteurs tels que le bâtiment, l'éclairage public, le transport et l'industrie (Energies Nouvelles Renouvelables et Maîtrise de l'Énergie, Ministère de L'énergie et des Mines Algérie [www.energy.gov.dz](http://www.energy.gov.dz))

L'engagement de l'Algérie pour créer une plus grande résilience aux catastrophes pourrait être attribué à la singularité de sa géographie, topographie et de son économie politique. Une partie considérable des territoires algériens est exposée aux séismes, inondations, à la sécheresse, aux feux de forêt, aux glissements de terrain, aux invasions de criquets et au risque de tsunamis. Plus de 90 % de la population vit le long des côtes qui comptent pour seulement 12 % des territoires algériens. De ce fait, une forte densité d'établissements conjuguée à la migration, la pauvreté, le chômage et la crise du logement, rend la majorité de la population vulnérable à la connexion des aléas naturels et socio-économiques. (Pour une Algérie Résiliente, l'UNISDR, publiée en Mars 2013)

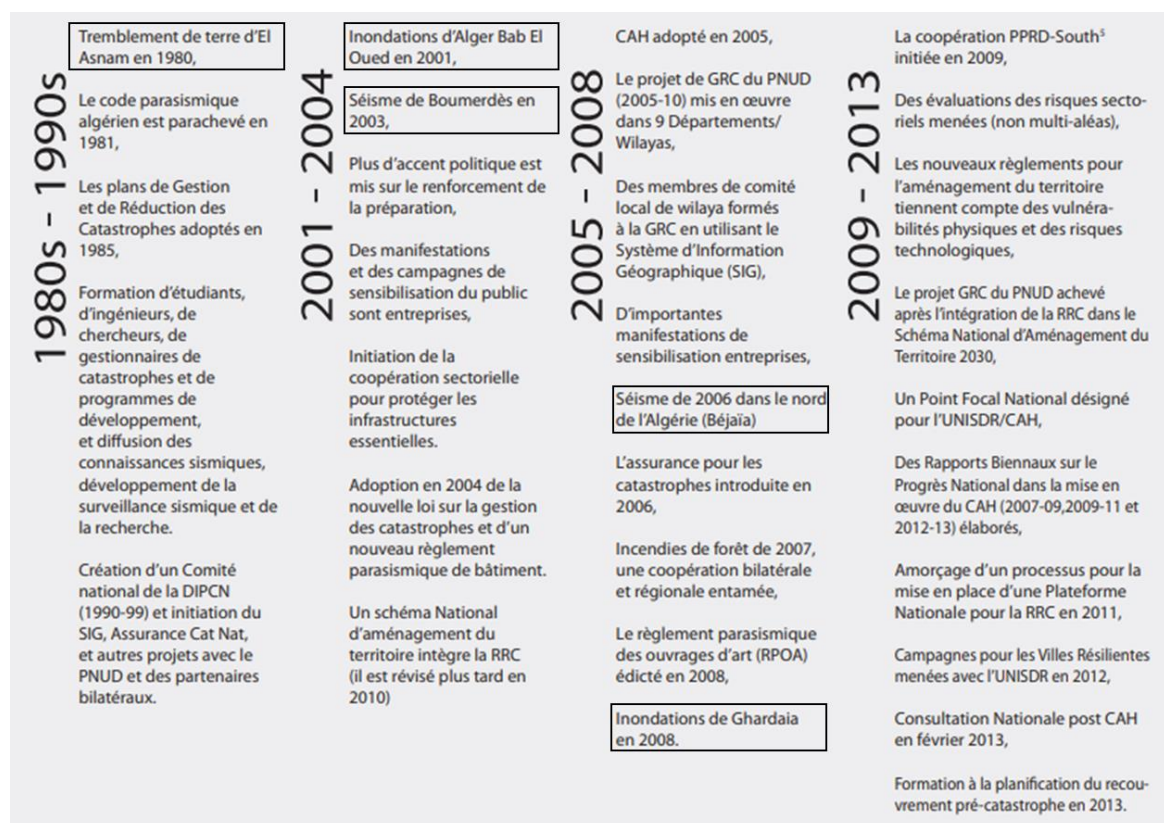


Figure 5. La chronologie de la RRC en Algérie source : Pour une Algérie Résiliente, l'UNISDR, publiée en Mars 2013

Dans cette optique, les systèmes de construction modulaire pliables avec une efficacité énergétique élevée pour les bâtiments ont émergé comme une solution innovante et prometteuse. Cette approche révolutionne la manière dont nous concevons, construisons et utilisons nos structures, en intégrant des principes de durabilité, de rapidité d'exécution, d'efficacité énergétique et de flexibilité.

Ce rapport de master vise à explorer en profondeur ce système de construction novateur, en examinant ses multiples facettes, avantages et applications potentielles. Nous allons plonger dans les détails techniques de ces bâtiments modulaires pliables tout en mettant l'accent sur leurs performances énergétiques.

## **2. Problématique général**

L'industrie de la construction actuelle est confrontée à des défis majeurs tels que

- L'inefficacité énergétique, le gaspillage excessif et la flexibilité limitée dans la conception des bâtiments
- La consommation élevée d'énergie, les coûts opérationnels en constante augmentation et des impacts environnementaux négatifs liés aux projets de construction.
- Le manque d'adaptabilité et les processus de construction lents entravent la capacité à répondre aux besoins changeants
- La crise du logement et les implications sociales en restreignant l'accès à des logements abordables et adaptés.
- La réponse rapide aux urgences et aux catastrophes devient cruciale, nécessitant des solutions flexibles et efficaces pour la reconstruction et la fourniture de logements temporaires.

## **3. Problématique spécifique**

La création d'un système de construction modulaire pliable, réputé pour son efficacité énergétique élevée, pourrait-elle répondre aux impératifs d'amélioration de l'efficacité énergétique, du confort intérieur, de la durabilité, de la réduction des déchets, d'un faible impact environnemental, tout en répondant aux besoins en situations d'urgence et dans le contexte de la crise du logement, ainsi que permettre la réduction des coûts de construction et d'exploitation ?

#### **4. Les Objectifs**

- Étudiez les multiples aspects, avantages et applications potentielles de ce système.
- Evaluer le comportement thermique de ce système constructif innovant

#### **5. Les hypothèses**

- Le système modulaire pliable peut répondre aux besoins en matière de bâtiment surtout dans les cas d'urgence.
- Prendre en considération les aspects énergétiques et environnementaux.
- Choisissez des matériaux de construction durables, isolants et éco énergétiques.
- Intégrez des technologies et les mesures d'efficacité énergétique



## 6. Méthodologie de Travail

### Consultation des article

Une recherche sur les matériaux de construction performantes durables et écologiques

Une recherche bibliographique sur les systèmes et les modules préfabriqués ainsi que leurs performances

### Conception de système

Conception des modules pliables pour le système de construction

### L'aire d'étude

Analyse bioclimatique sur le site d'intervention  
À l'aide du logiciel méteonorme et climat consultant

Conception d'une école primaire avec système de construction modulaire pliable avec l'adaptation aux règles de l'architecture bioclimatique

### L'évaluation de système

Evaluation du confort et l'efficacité énergétique Dans les Zones climatique (Méditerranéen, Continental, Saharienne) à l'aide des logiciels méteonorme et climat consultant et DesignBuilder

### L'évaluation du bâtiment

Evaluation du confort et l'efficacité énergétique dans l'école primaire à l'aide de Logiciel de simulation thermique dynamique DesignBuilder

# **Chapitre 2: Cas d'étude, description du projet et méthode utilisée**

## **1. Présentation du système**

Notre Système de Construction Modulaire Pliable fonctionne sur un principe simple mais innovant, conçu pour rationaliser le processus de construction et maximiser l'efficacité. Voici un résumé de son fonctionnement :

### **1.1. Modules Préfabriqués :**

- Nous commençons par fabriquer des modules préfabriqués hors site dans des conditions contrôlées en usine.
- En fabriquant hors site, nous éliminons bon nombre des défis associés à la construction traditionnelle sur site, tels que les retards dus aux conditions météorologiques, les pénuries de matériaux et les risques pour la sécurité

### **1.2. Conception Pliable :**

- Une des caractéristiques clés de notre système est sa conception pliable. Chaque module est méticuleusement conçu pour se plier, permettant un transport et un stockage faciles.
- Cette conception innovante simplifie non seulement la logistique, mais réduit également les coûts de transport et l'impact environnemental. Que ce soit à travers la ville ou à travers le pays, nos modules peuvent être facilement transportés sur le chantier de construction sans tracas.

### **1.3. Assemblage Simplifié sur Site :**

- Une fois que les modules arrivent sur le chantier de construction, l'assemblage est un jeu d'enfant. Notre processus simplifié réduit le besoin d'activités complexes de construction sur site, ce qui économise du temps et des coûts de main-d'œuvre.

## **2. Le design du système de construction modulaire pliable**

Notre innovant Système de Construction Modulaire Pliable repose sur une combinaison polyvalente de trois types de modules : Grand, Moyen et Petit. Cette approche modulaire offre une flexibilité inégalée en matière de conception et de construction, permettant une multitude de possibilités.

## 2.1. Grands Modules :

- Les grands modules servent de fondation à notre système, fournissant une intégrité structurelle et un soutien pour les sections plus grandes du bâtiment.
- Ces modules sont conçus pour accueillir des espaces spacieux, tels que les salons, les espaces communs ou les grands bureaux.

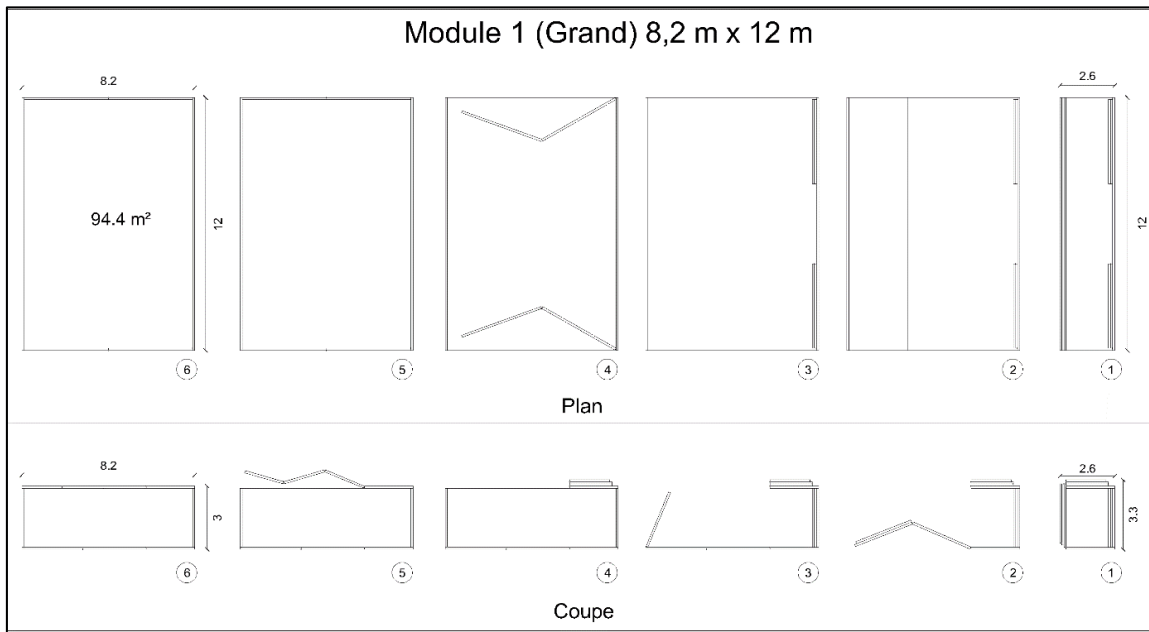


Figure 6. Les étapes de pliage - Plans - Grand Module source: auteur

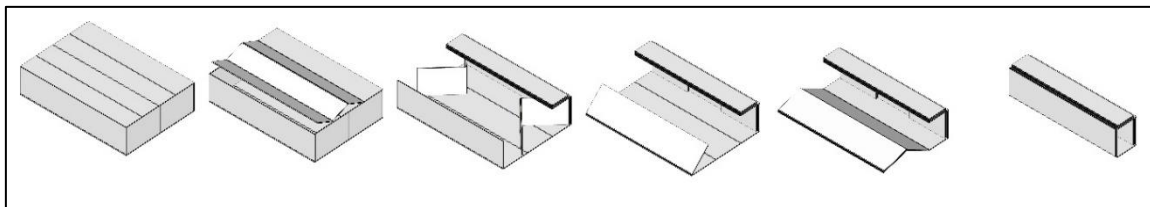


Figure 7. Les étapes de pliage - Axonométrie - Grand Module source: auteur

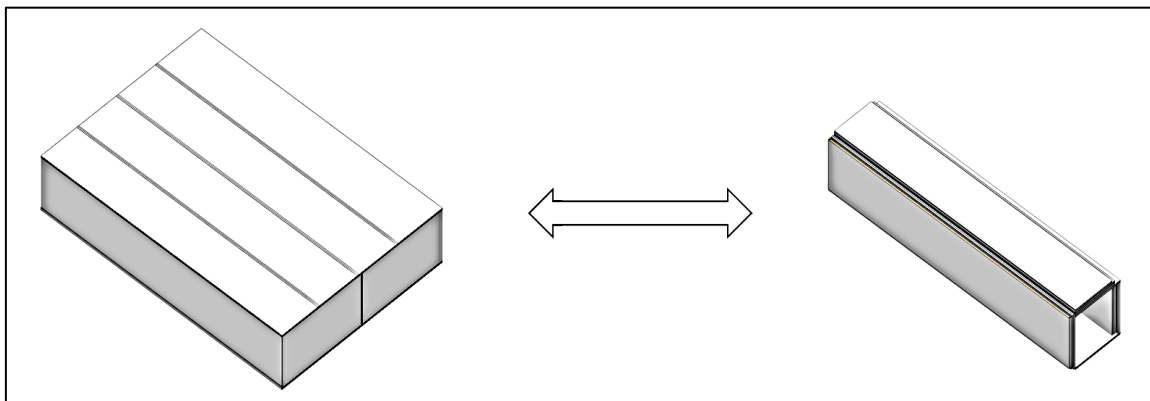


Figure 8. La première et la dernière étapes - Grand Module

## 2.2. Modules Moyens :

- Les modules moyens offrent un équilibre entre taille et polyvalence, ce qui les rend idéaux pour une large gamme d'applications.
- Ces modules peuvent être utilisés pour créer des pièces plus petites, telles que des chambres à coucher, des bureaux ou des espaces de stockage.
- Avec leur conception adaptable, les modules moyens permettent une utilisation efficace de l'espace tout en maintenant l'intégrité structurelle et la fonctionnalité.

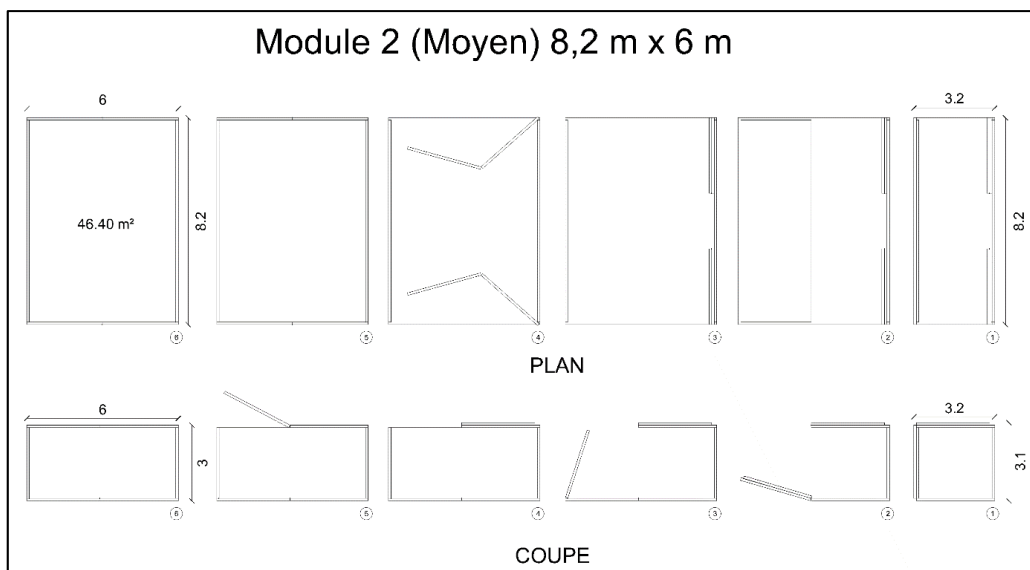


Figure 9. Les étapes de pliage - Plans - Module Moyen source: auteur

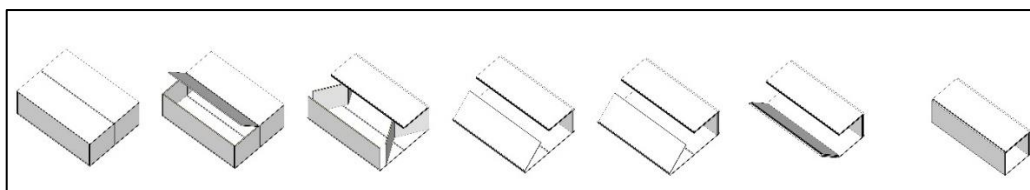


Figure 10. Les étapes de pliage - Axonométrie - Module Moyen source: auteur

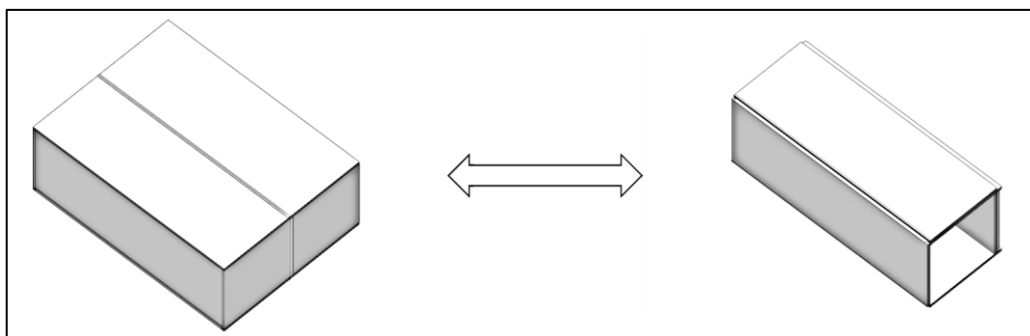


Figure 11. La première et la dernière étapes - Module Moyen Source : auteur

### 2.3. Petits Modules :

- Les petits modules sont les éléments de personnalisation, offrant une flexibilité en termes de conception et de disposition.
- Ces modules sont parfaits pour créer des espaces compacts, tels que des salles de bains, des kitchenettes ou des buanderies.
- Malgré leur taille réduite, les petits modules jouent un rôle crucial dans l'optimisation de l'utilisation de l'espace et dans la satisfaction des besoins spécifiques.

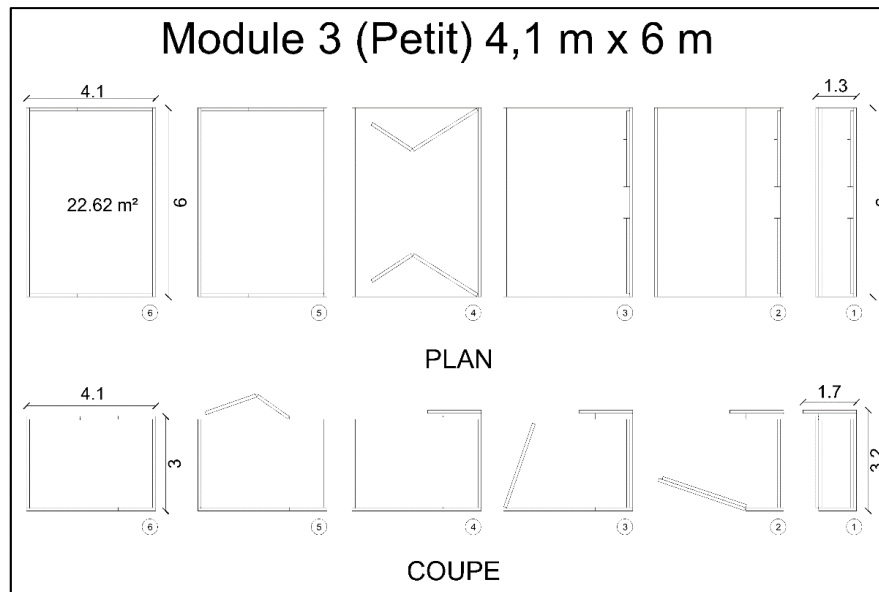


Figure 12. Les étapes de pliage - Plans – Petit Module source: auteur

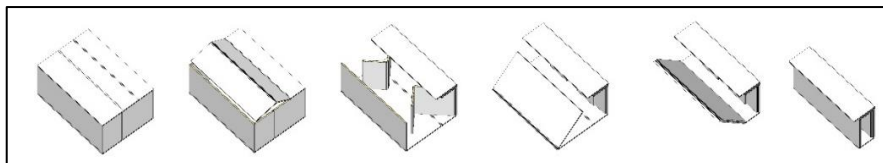


Figure 13. Les étapes de pliage - Axonométrie - Petit Module source: auteur

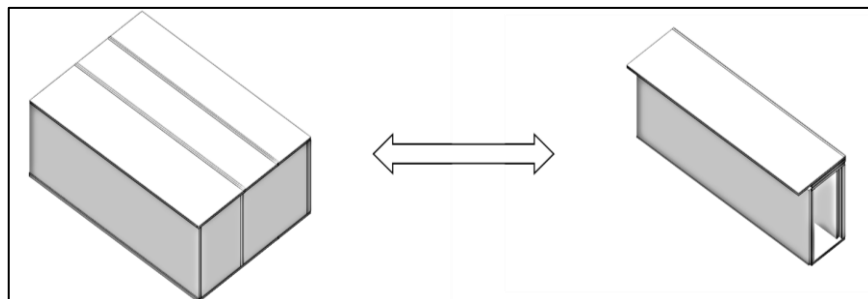


Figure 14. La première et la dernière étapes - Petit Module Source : auteur

## 2.4. Regroupement des Modules :

L'un des principaux avantages de notre système est la capacité à regrouper les modules pour créer des configurations personnalisées.

Qu'il s'agisse d'empiler de grands modules pour créer des structures à plusieurs étages, de combiner des modules moyens et petits pour maximiser l'efficacité de l'espace, ou de mélanger et assortir les modules pour répondre à des spécifications de conception uniques, les possibilités sont infinies.

Cette approche modulaire permet aux architectes, aux promoteurs immobiliers et aux propriétaires de libérer leur créativité et de personnaliser leurs structures selon leur vision et leurs besoins.

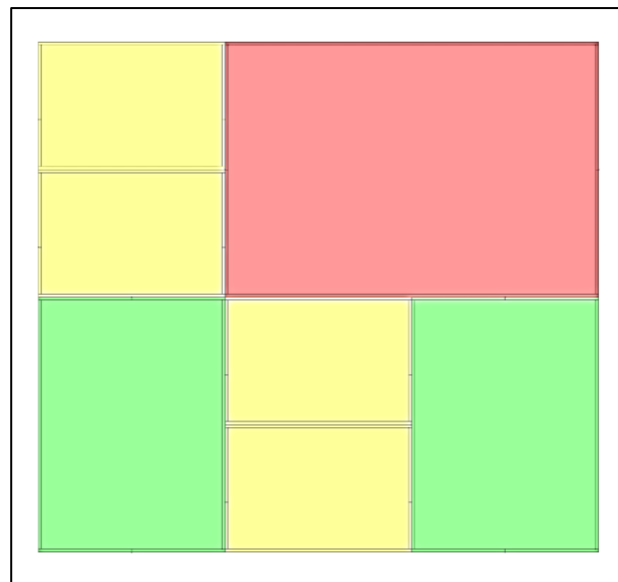


Figure 15. Regroupement des Module - Plan Source: auteur

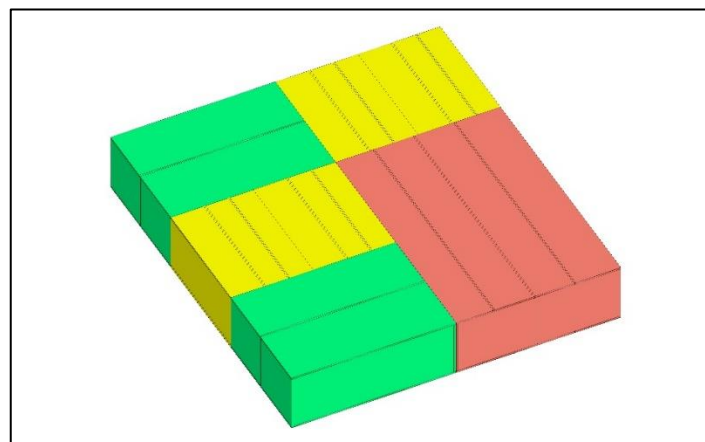


Figure 16. Regroupement des module- Axonométrie Source : auteur

### 3. Présentation de l'aire d'étude :

L'aire d'étude est une école primaire construite à l'époque coloniale, un bâtiment énergivore en état de dégradation. Notre recherche théorique vise à proposer un nouveau bâtiment à haute efficacité énergétique en utilisant notre système de construction modulaire pliable.

#### 3.1. Situation

La wilaya de Tiaret se trouve à 237 km de la wilaya d'Alger et s'étend sur une superficie de 20 673 km<sup>2</sup> et se situe dans la région ouest des hauts plateaux de l'Algérie

Elle est délimitée :

- au nord, par les wilayas de Tissemsilt et de Relizane ;
- au sud, par les wilayas de Laghouat et de El Bayadh ;
- à l'ouest, par les wilayas de Mascara et de Saïda ;
- à l'est, par la wilaya de Djelfa.

Ksar Chellala est une commune de la wilaya de Tiaret. Elle est située à 106 km à l'est de Tiaret

La zone d'intervention est situé au cœur de la ville de Ksar Chellala



Figure 17. Situation de wilaya de tiaret Source: Google earth



Figure 18. La carte de délimitation de Tiaret Source : auteur



Figure 19. Vue aérien de la ville de Ksar chellala Source : Google earth



### 3.2. Ecole Primaire DOCTEUR SAADAN

- Notre zone d'intervention a une forme régulières (rectangulaire) et une surface totale de **70 m x 50 m = 3500 m<sup>2</sup>**
- Elle est accessible par les voies dans les trois façades (Nord, Est et Ouest)
- La zone est entourée par des zones d'habitations, mosquée, école primaire et lycée

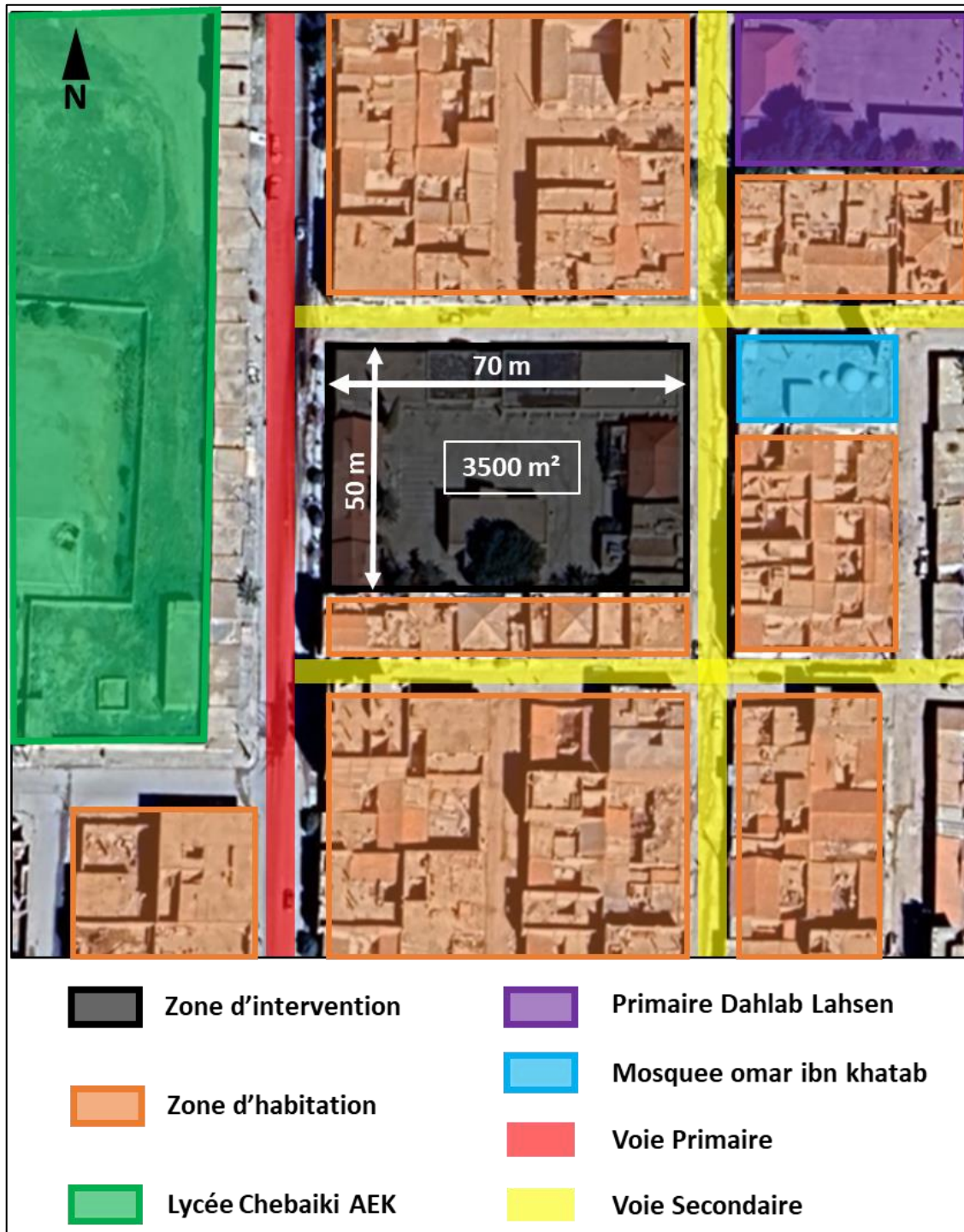


Figure 20. Carte de la zone d'intervention et l'environnement immédiat Source : google earth traite pare l'auteur

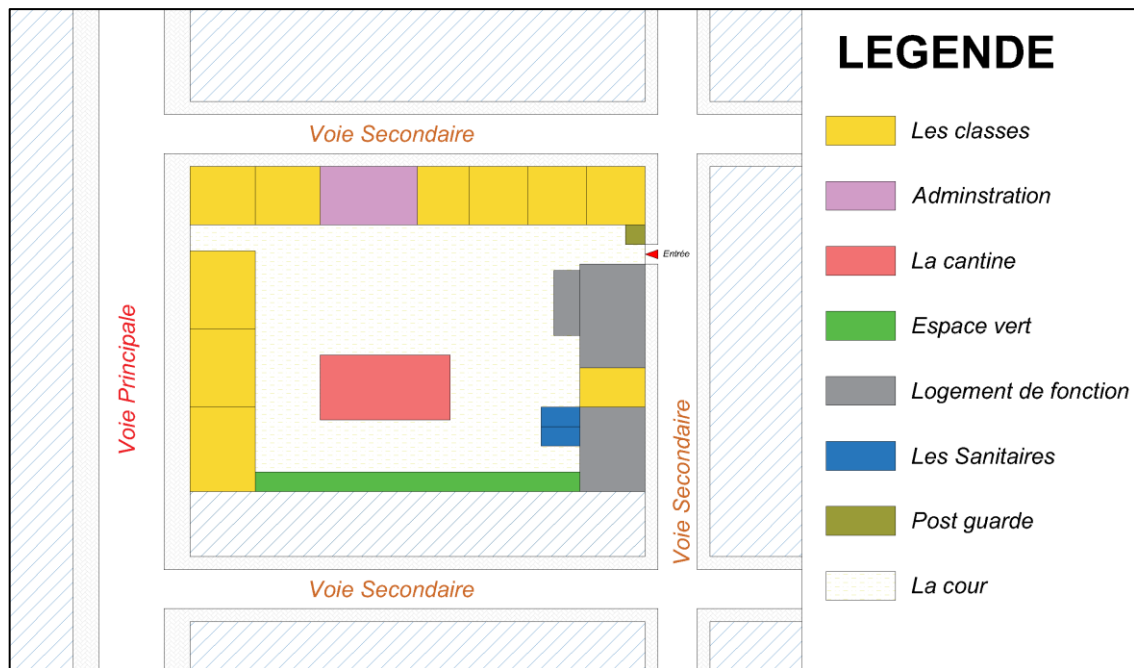


Figure 21. Carte représentant les espace dans l'école primaire source : auteur

## 4. Analyse Climatique

### 4.1. Température :

Les températures dans notre terrain d'intervention varient entre 3°C comme température minimum en Janvier qui est le mois le plus froid et qui arrive jusqu'à 35°C en été en juillet qui est le mois le plus chaud, ce qui fait du site un site assez froid en hiver et assez chaud en été

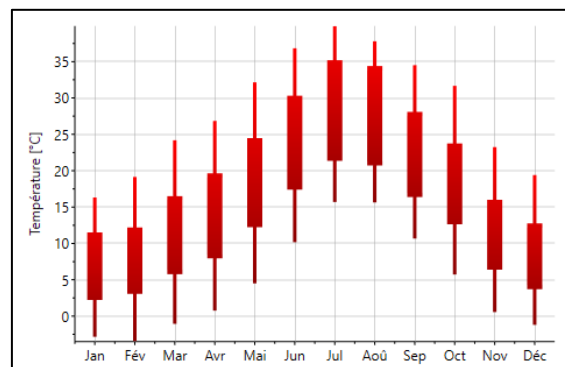


Figure 22. Graphe de Température Source : météonorme

### 4.2. La précipitation :

Les précipitations à Ksar chellala peuvent arriver à plus de 45 mm durant le mois de Février et descendre jusqu'à 5 mm durant le mois de juillet

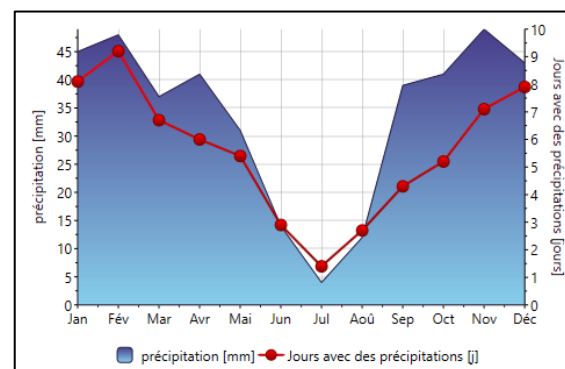


Figure 23. Graphe des précipitations source : météonorme.

### 4.3. Ensoleillement :

Le site est bien ensoleillé et il n'y a pas de fort obstacle. Le site est le plus ensoleillé durant les mois de juin, juillet et août avec 14 h d'ensoleillement par jour

Le site est le moins ensoleillé durant les mois de janvier, février et décembre avec 10h d'ensoleillement par jour.

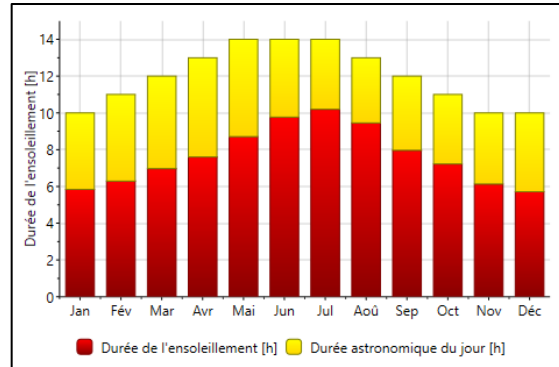


Figure 24. Graphe de durée de l'ensoleillement source : météonorme

### 4.4. Les Vents :

D'Octobre jusqu'à Avril :

-Les vents dominants qui touchent le site entre Octobre et Avril sont des vents froids qui viennent du Ouest et Sud-Ouest avec une vitesse de 14m/s.

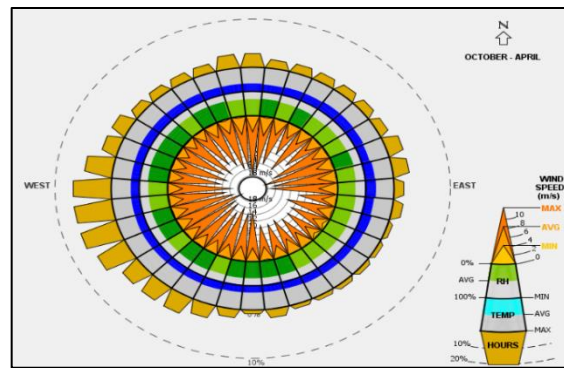


Figure 25. La Rose des vents pendant la période hivernal Source : auteur

De May jusqu'à Septembre :

-Les vents dominants qui touchent le site entre May et Septembre sont des vents Chauds qui viennent du Nord , Est et Nord-est avec une vitesse de 8 m/s.

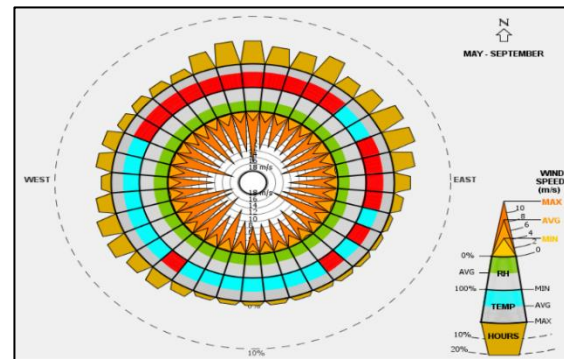


Figure 26. la Rose des vent pendant la période estival Source: auteur

### 4.5. L'humidité :

La zone d'intervention est dans une zone semi-aride avec un maximum de 78% d'humidité en décembre et 35% en juillet comment pourcentage d'humidité le plus bas.

	Jan	fev	Mar	Avr	May	Jun	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
HR %	76	73	66	62	54	42	35	39	53	59	73	78

Tableau 1. representant l'humidité dans la zone d'intervention source : Climat Consultant traite par auteur

## 5. Analyse bioclimatique

### 5.1. Diagramme de Givoni :

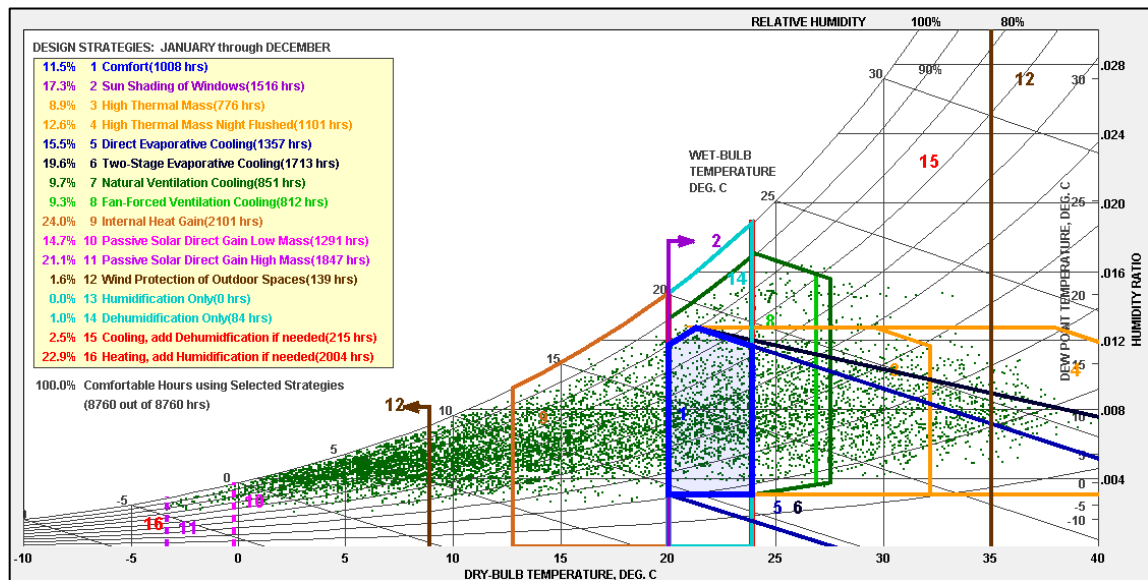


Tableau 2. Diagramme de Givoni source : Climateconsultant

Le diagramme de Givoni nous permet de déterminer trois zones dans notre site :

- La zone de confort avec une température entre 20°C et 24°C
- La zone de sous-chauffe les températures varient entre -3°C et 20°C
- La zone de surchauffe dans cette zone les températures varient entre 24°C et 35°C

### 5.2 Recommandation du diagramme de Givoni :

<u>Passive</u>	<u>Active</u>
Pour le chauffage solaire passif, faites face à la majeure partie de la zone vitrée au sud pour maximiser l'exposition au soleil en hiver, mais concevez des surplombs à l'ombre complète en été	Les jours chauds, les ventilateurs de plafond ou le mouvement de l'air intérieur peuvent le faire paraître plus frais de 5 degrés F (2,8 ° C) ou plus, donc moins d'air conditionné est nécessaire
Utilisation des matériaux isolants et Eco-énergétique	
Fournir un vitrage haute performance à double vitrage (Low-E) à l'ouest, au nord et à l'est, mais clair au sud pour un gain solaire passif maximal	
Les toits plats fonctionnent bien dans les climats chauds et secs (surtout s'ils sont de couleur claire)	
Les auvents de fenêtre peuvent réduire ou éliminer la climatisation	

Une bonne ventilation naturelle peut réduire ou éliminer la climatisation par temps chaud, si les fenêtres sont bien ombragées et orientées vers les brises dominantes	Ventilation mécanique contrôlée
Le gain de chaleur des lumières, des personnes et de l'équipement réduit considérablement les besoins de chauffage, alors gardez la maison étanche et bien isolée (pour abaisser la température du point d'équilibre)	Pompe à chaleur pour la climatisation et le chauffage
Le gain de chaleur des lumières, des personnes et de l'équipement réduit considérablement les besoins de chauffage, alors gardez la maison étanche et bien isolée (pour abaisser la température du point d'équilibre)	

Tableau 3.les recommandation du diagramme de Givioni source : Climat consulting traite par auteur

## 6. Conceptualisation du projet :

### 6.1. Programme du projet :

Entité	Nom de l'espace	Nombre	Surface (m <sup>2</sup> )
Education	Les Classes	10	94,40
Administration	Bureau Directeur	1	19,58
	Bureau Secrétaire	1	11,53
	Bureau Comptable	1	13,71
	Salle des maitres	1	46,40
	Salle Polyvalente	1	94,40
	Loge gardien	1	22,62
	Sanitaire	2	8,31
	Stockage	1	4,20
Restauration	Réfectoire	1	191,16
	Cuisine	1	22,62
	Dépôt Cuisine	1	22,62
Recréation	Préau	1	270,82
	Cour	1	906,34
Hygiène	Sanitaire	2	46,40
Sport	Stade	1	456,40
	Vestiaire	2	46,40
Technique	Locaux technique	2	46,40
Résidence	Logement de fonction	2	94,40

Tableau 4.Programme quantitative et qualitative du projet Source : auteur

### 6.2. Tracé des Limites du Terrain :

Définir précisément les limites du terrain destiné à la construction de l'école, en respectant les caractéristiques géographiques du site.

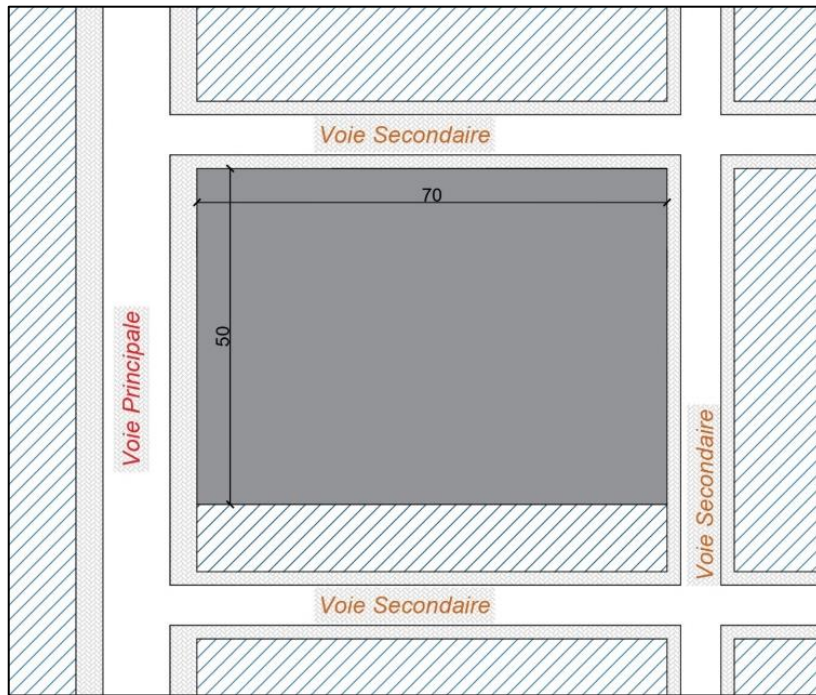


Figure 27.les limite de terrain d'intervention Source : auteur

### 6.3. Utilisation de la Trame selon les Dimensions des Modules Préfabriqués :

Adopter une trame basée sur les dimensions des modules préfabriqués pour assurer une intégration cohérente et efficace des éléments modulaires dans la conception architecturale.

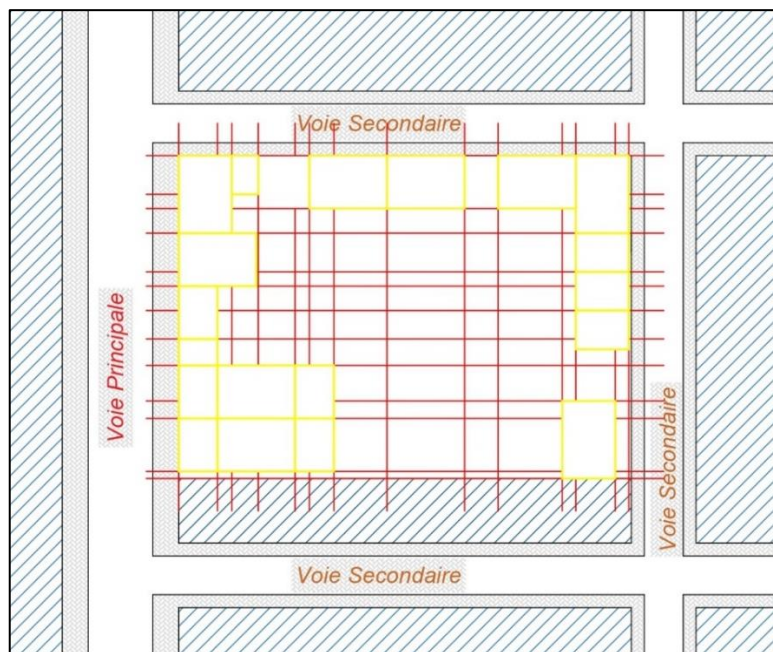


Figure 28.La trame utilise dans le projet Source : auteur

#### 6.4. Conception du Projet avec les Modules Pliables :

Concevoir le projet en utilisant des modules pliables, en intégrant les spécificités techniques et les avantages de cette méthode de construction pour optimiser la rapidité et la flexibilité de l'assemblage.

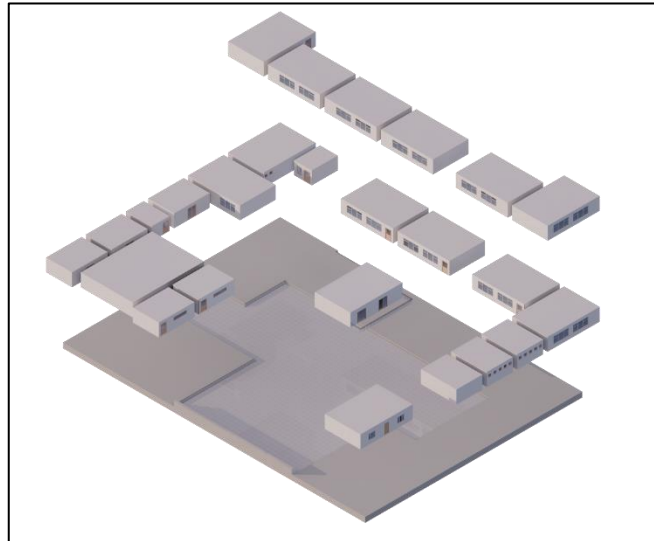


Figure 29. Utilisation des modules pour la conception Source : auteur

#### 6.5. Identification des Matériaux Utilisés dans les Modules :

Identifier les matériaux utilisés dans les modules, tels que des panneaux isolants haute performance, et des finitions intérieures et extérieures adaptées pour assurer durabilité, efficacité énergétique, et confort.

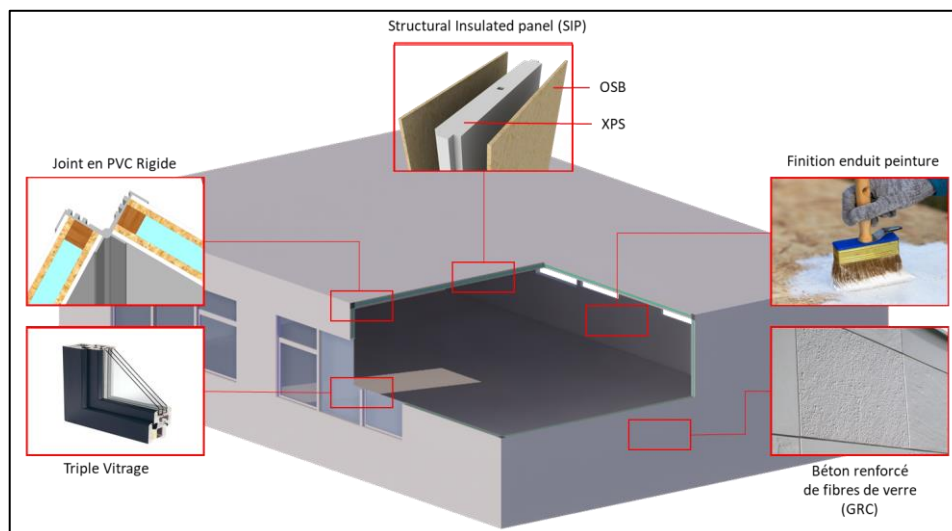


Figure 30. Les matériaux utilisés dans les modules Source : auteur

## 6.6. Orientation et Conception selon l'Ensoleillement et les Directions des Vents :

Orienter et concevoir le projet en tenant compte de l'ensoleillement optimal et des directions dominantes des vents pour maximiser l'efficacité énergétique, améliorer le confort thermique, et favoriser la ventilation naturelle des espaces intérieurs.



Figure 31. L'orientation du bâtiment vers le Sud Source: auteur

## 6.7. Identification des Entités et Positionnement des Fonctions des Espaces :

Identifier les différentes entités fonctionnelles de l'école (salles de classe, bureaux administratifs, espaces communs, etc.) et positionner ces espaces de manière stratégique pour optimiser la circulation et l'utilisation quotidienne, en tenant compte des besoins spécifiques des utilisateurs.

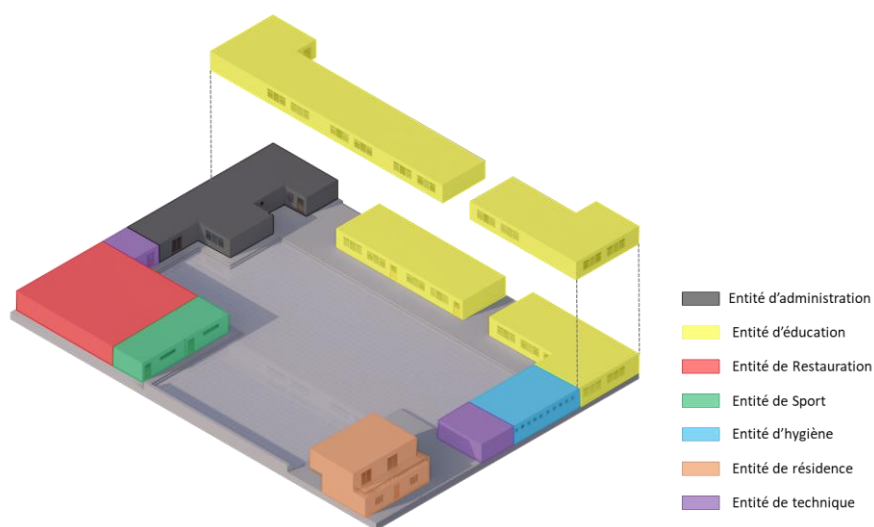


Figure 32. L'identification des entités du projet Source: auteur



## 6.8. Utilisation du béton renforcé de fibres de verre (GRC)

- Utiliser du béton renforcé de fibres de verre (GRC) pour la décoration des façades, apportant une esthétique moderne et durable.
- Créer des éléments d'ombrage pour les ouvertures avec du GRC, afin d'améliorer le confort thermique intérieur et de réduire les besoins en climatisation.



Figure 33.L'utilisation du GRC dans les façades (1) Source:auteur



Figure 34.L'utilisation du GRC dans les façades (2) Source: auteur

## 7. Méthodologie de simulation et logiciel utilisé

### 7.1. Présentation du logiciel de simulation :

DesignBuilder est un logiciel de simulation dynamique doté d'une interface graphique riche en fonctionnalités inédites dans les logiciels existants. Voici ses principales capacités

- Calcul des déperditions et gains thermiques de l'enveloppe en hiver et en été
- Dimensionnement du chauffage
- Dimensionnement du rafraîchissement par ventilation naturelle et/ou climatisation

- Simulation dynamique (STD) fournissant des données sur le confort, le bilan thermique, la ventilation, etc.
- Modélisation 3D réaliste avec vue des ombres portées (maquette BIM)
- Outils de modélisation incluant des assistants pour la création de fenêtres, la composition de la construction, et la détection automatique du type de paroi, réduisant ainsi le besoin de saisies manuelles
- Calculs conformes aux normes LEED, y compris ASHRAE 90.1 et EAp2
- Calcul du coût global via des fonctions puissantes d'estimation des coûts de construction, d'énergie et de cycle de vie basées sur la maquette BIM
- Module d'optimisation permettant de déterminer les paramètres du bâtiment offrant le meilleur compromis entre coût, confort et émissions de gaz à effet de serre (GES) (www.batisim.net)

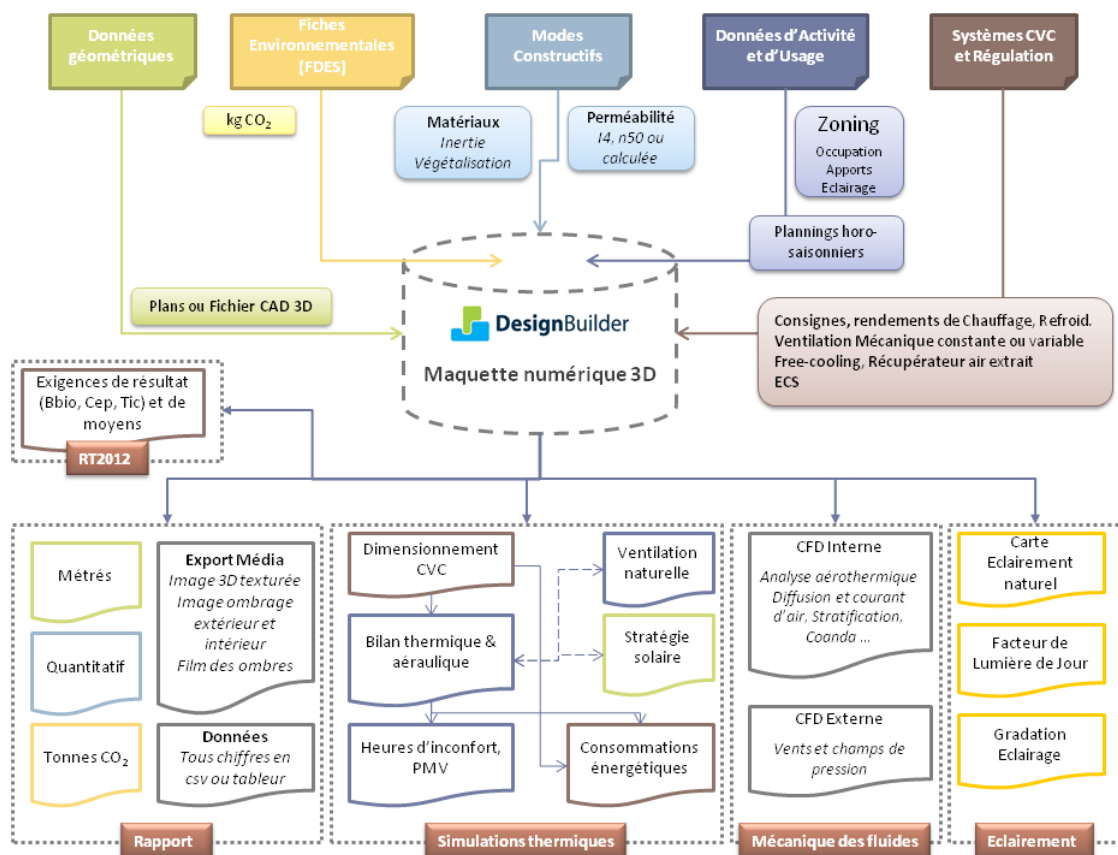


Figure 35. Fonctionnalité du logiciel designbuilder source : www.batisim.net.

## 7.2. Méthodologie de Simulation :

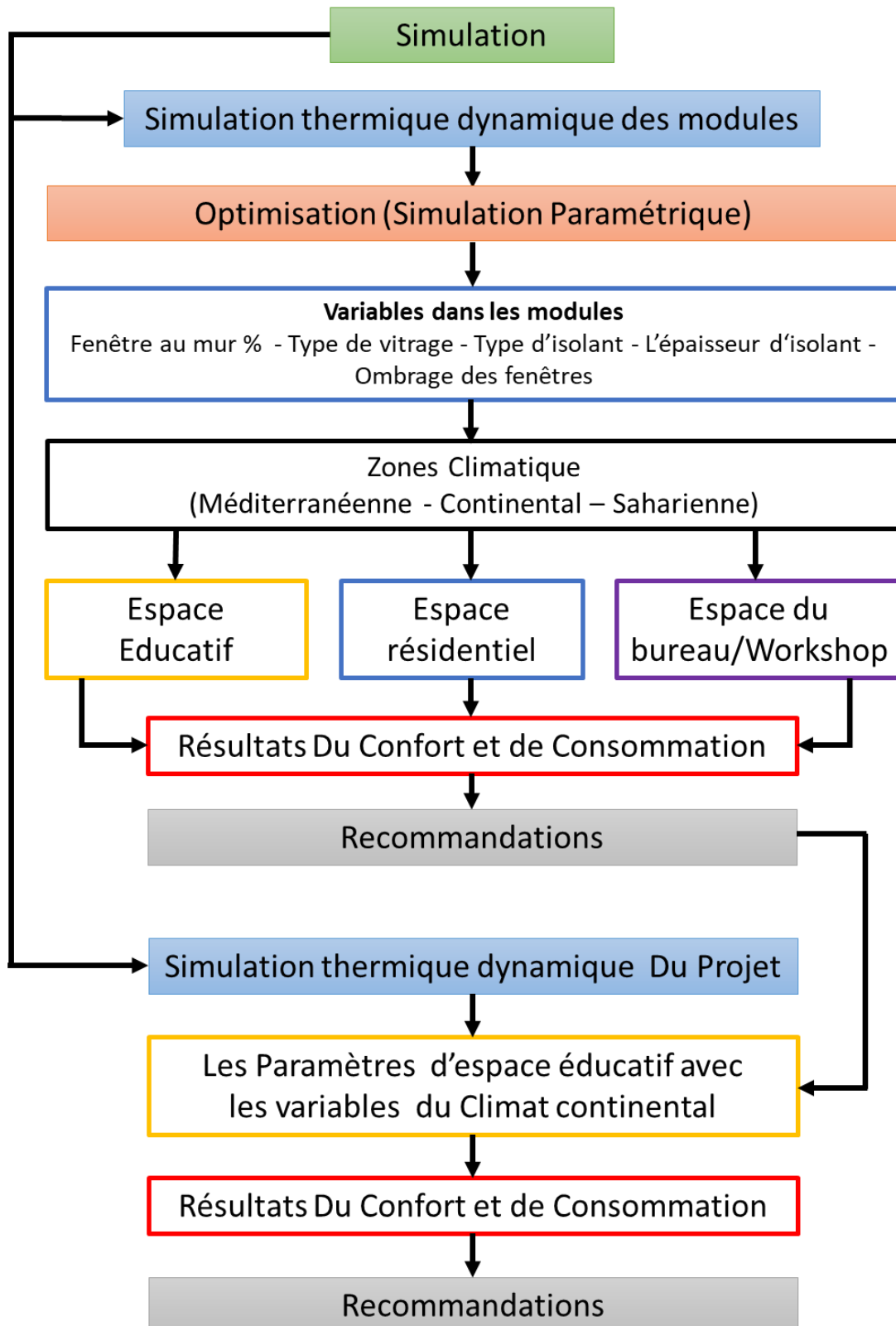


Figure 36. Methodologie de simulation source: auteur

### **7.3. Simulation des modules**

Pour garantir l'efficacité énergétique et le confort thermique de nos modules, nous effectuerons une simulation thermique dynamique. Cette simulation sera réalisée dans trois zones climatiques distinctes d'Algérie

- Méditerranéenne (Alger)
- Continentale (Tiaret)
- Saharienne (Adrar)

Et couvrira trois types d'usage des bâtiments

- Éducatif
- Résidentiel
- Bureau/Workshop

#### **7.3.1. Optimisation (Simulation Paramétrique)**

L'optimisation est une technique permettant de rechercher et d'identifier efficacement les options de conception qui répondent le mieux aux principaux objectifs de performance. Elle est similaire, à bien des égards, à l'analyse paramétrique, une technique plus connue pour analyser comment la performance de la conception varie en fonction des changements de configuration du bâtiment à l'aide de courbes de conception.

Dans DesignBuilder, des algorithmes génétiques (GA), également appelés algorithmes évolutionnaires (EA), sont utilisés pour rechercher des solutions de conception optimales de manière bien plus efficace que l'analyse paramétrique lorsque davantage de variables sont impliquées. Dans DesignBuilder, jusqu'à 10 variables de conception peuvent être incluses dans l'analyse en combinaison avec jusqu'à 2 objectifs, tels que "minimiser les émissions de carbone" et "minimiser l'inconfort". (Designbuilder.co.uk)

#### **7.3.2. Principaux objectifs**

- Minimiser la consommation énergétique
- Minimiser l'inconfort
- Minimiser les émissions de carbone

### 7.3.3. Variables de la conception

Fenêtre au mur %	<ul style="list-style-type: none"><li>• 20 – 80</li></ul>
Type de vitrage	<ul style="list-style-type: none"><li>• Simple</li><li>• Double</li><li>• Triple</li></ul>
Type d'isolant	<ul style="list-style-type: none"><li>• PUR Polyuréthane</li><li>• EPS Expansé Polystyrène</li><li>• XPS Extrudé Polystyrène</li></ul>
L'épaisseur d'isolant	<ul style="list-style-type: none"><li>• 50 mm</li><li>• 100 mm</li><li>• double (75 mm + 60 mm)</li></ul>
Ombrage des fenêtres	<ul style="list-style-type: none"><li>• Overhang 0,5 m</li><li>• Overhang 1 m</li><li>• Overhang 1,5 m</li><li>• Projection Louvre 0,5 m</li><li>• Projection Louvre 1 m</li></ul>

Tableau 5. Les variables de la conception Source : auteur

# **Chapitre 2: Résultats obtenus et discussion**

# 1. Résultat et interprétation (les modules)

## 1.1. Climat méditerranéenne (Alger) – Optimisation

Variabes	Conception optimale
Fenêtre au mur %	40 %
Type de vitrage	Trp LoE (e5=.1) Clr 3mm/6mm Air
Type d'isolant	PUR Polyuréthane
L'épaisseur d'isolant	100 mm
Ombre des fenêtres	1 m Overhang
CO2 (kg/an)	1697,81
Les heures d'inconfort (h /an)	1028,5

Tableau 6.les variable de la conception - climat méditerranéen (Alger) source:designBuilder traite par l'auteur

### 1.1.1. Usage du bâtiment – espace éducatif

#### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,02	18,27	20,25	22,46	25,50	29,73	32,75	32,47	28,68	25,68	21,44	18,72
Température radiante (°C)	17,74	19,06	21,04	23,40	26,54	30,82	33,75	33,38	29,56	26,48	22,11	19,41
Température opérative (°C)	17,38	18,67	20,64	22,93	26,02	30,28	33,25	32,92	29,12	26,08	21,78	19,06
Température Sèche Air Extérieur (°C)	10,10	10,69	13,39	15,53	18,93	22,95	26,63	26,94	23,60	20,49	14,73	11,52
Humidité relative (%)	54,85	51,61	51,56	51,51	49,72	45,69	45,74	48,19	54,55	53,59	54,08	54,03

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 37.Les résultat de Simulation -Senario1 Source:designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives sont légèrement basses (17,38°C à 19,06°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives augmentent progressivement, atteignant des niveaux confortables (18,67°C à 26,02°C) sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (30,28°C à 33,25°C) correspondent à la période de vacances scolaires, pendant laquelle le bâtiment n'est pas utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (26,08°C et 21,78°C).

## Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air)

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,77	18,74	20,14	21,70	24,65	29,73	32,75	32,47	24,87	23,12	21,17	18,99
Température radiante (°C)	18,27	19,36	20,91	22,74	25,82	30,82	33,75	33,38	26,42	24,36	21,84	19,54
Température opérative (°C)	18,02	19,05	20,52	22,22	25,23	30,28	33,25	32,92	25,65	23,74	21,50	19,27
Température Sèche Air Extérieur (°C)	10,10	10,69	13,39	15,53	18,93	22,95	26,63	26,94	23,60	20,49	14,73	11,52
Humidité relative (%)	53,17	51,62	53,34	53,96	52,05	45,69	45,74	48,19	60,38	59,07	56,13	53,97





	Vacances		Zone de sur chauffe
	Zone de confort		Zone de Sous chauffe

Figure 38. Les résultats de Simulation - Scénario 2 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (18,02°C à 19,27°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (20,52°C à 25,23°C) ont été maintenues, assurant un confort thermique optimal sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (30,28°C à 33,25°C) ne sont pas une préoccupation majeure, car cette période correspond aux vacances scolaires. La pompe à chaleur peut être utilisée sporadiquement si le bâtiment est utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (21,50°C à 25,65°C) ont été facilement maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

## Consommation d'énergie et l'émissions de GES

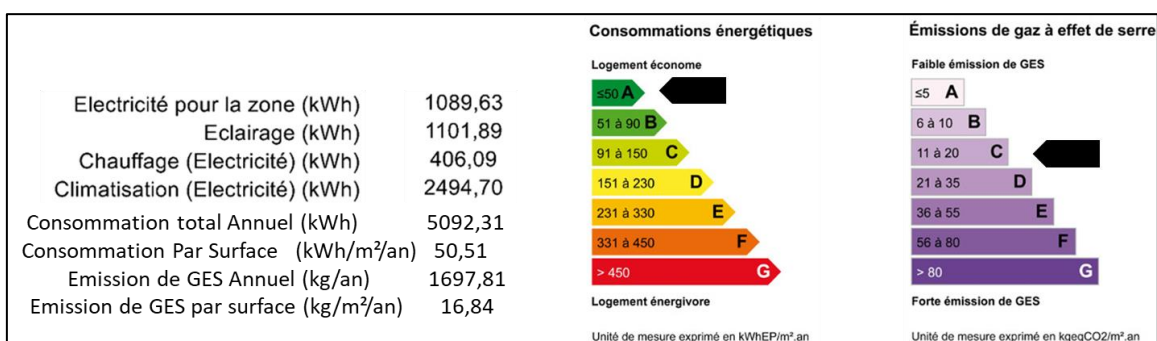


Figure 39. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traité par l'auteur



## Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale** : Le bâtiment se situe dans la classe **A** ( $\leq 50$  kWhEP/m<sup>2</sup>.an), ce qui indique une consommation énergétique très faible et donc une grande efficacité énergétique.

## Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES** : La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre.

### 1.1.2. Usage du bâtiment – espace résidentiel

#### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	15,71	16,60	18,33	19,92	22,31	25,94	29,33	29,37	25,94	23,16	18,92	16,75
Température radiante (°C)	16,57	17,59	19,33	21,09	23,59	27,26	30,45	30,33	26,88	24,10	19,81	17,62
Température opérative (°C)	16,14	17,10	18,83	20,51	22,95	26,60	29,89	29,85	26,41	23,63	19,36	17,18
Température Sèche Air Extérieur (°C)	10,10	10,69	13,39	15,53	18,93	22,95	26,63	26,94	23,60	20,49	14,73	11,52
Humidité relative (%)	57,69	54,47	55,99	57,82	58,56	56,79	55,33	57,51	62,69	60,84	60,05	58,45

Zone de confort
  Zone de sur chauffe
  Zone de Sous chauffe

Figure 40. Les résultats de Simulation - Scénario 1 Source: designBuilder traité par l'auteur.

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre)** : Les températures opératives sont légèrement basses (16,14°C à 17,10°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai)** : Les températures opératives augmentent progressivement, atteignant des niveaux confortables (18,83°C à 22,95°C) sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août)** : Les températures opératives légèrement élevées (26,60°C à 29,89°C) suggèrent un besoin de climatisation pour assurer le confort thermique.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre)** : Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (19,36°C et 26,41°C).

## Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air)

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,50	17,82	18,75	19,83	21,39	23,08	24,52	24,55	23,10	21,74	19,21	17,91
Température radiante (°C)	17,88	18,50	19,65	21,02	22,83	24,83	26,29	26,16	24,45	22,91	20,00	18,45
Température opérative (°C)	17,69	18,16	19,20	20,42	22,11	23,96	25,41	25,35	23,77	22,32	19,61	18,18
Température Sèche Air Extérieur (°C)	10,10	10,69	13,39	15,53	18,93	22,95	26,63	26,94	23,60	20,49	14,73	11,52
Humidité relative (%)	51,98	50,49	54,64	57,90	60,55	61,85	63,49	65,52	66,69	63,26	59,05	54,62

Zone de confort
  Zone de sur chauffe
  Zone de Sous chauffe

Figure 41. Les résultats de Simulation - Scénario 2 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (18,16°C à 18,18°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (19,20°C à 25,23°C) ont été maintenues, assurant un confort thermique optimal sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives confortables (23,96°C à 25,41°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (19,61°C à 23,77°C) ont été facilement maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

## Consommation d'énergie et l'émissions de GES

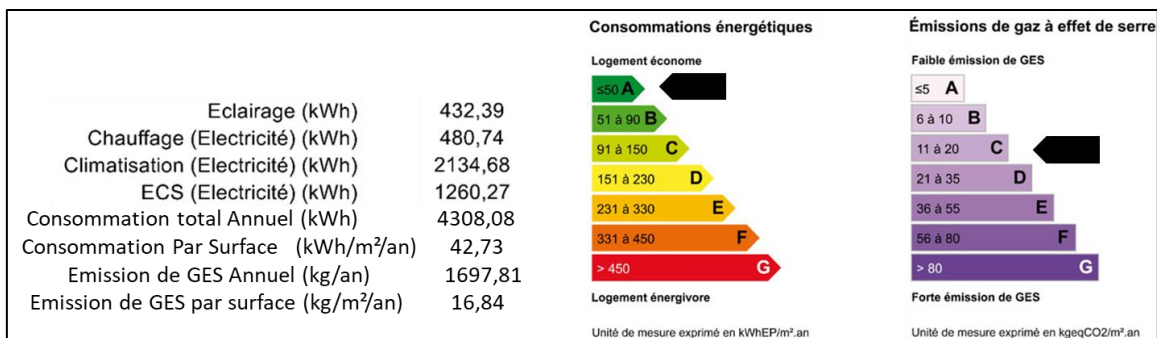


Figure 42. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traité par l'auteur

## Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale** : Le bâtiment se situe dans la classe **A** ( $\leq 50$  kWhEP/m<sup>2</sup>.an), ce qui indique une consommation énergétique très faible et donc une grande efficacité énergétique.

## Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES** : La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

### 1.1.3. Usage du bâtiment – espace bureau/workshop

#### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	16,70	17,56	19,48	21,33	24,09	27,72	30,67	30,82	27,36	24,49	20,08	17,78
Température radiante (°C)	17,14	18,13	20,09	22,10	24,98	28,76	31,54	31,86	27,99	25,07	20,53	18,22
Température opérative (°C)	16,92	17,85	19,78	21,71	24,54	28,24	31,11	31,34	27,67	24,78	20,30	18,00
Température Sèche Air Extérieur (°C)	10,10	10,69	13,39	15,53	18,93	22,95	26,63	26,94	23,60	20,49	14,73	11,52
Humidité relative (%)	56,01	53,08	53,86	54,76	54,06	52,47	52,59	53,30	58,79	57,33	57,64	56,61

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 43. Les résultat de Simulation -Senario1 Source:designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre)** : Les températures opératives sont légèrement basses (16,92°C à 18°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai)** : Les températures opératives augmentent progressivement, atteignant des niveaux confortables (19,78°C à 24,54°C) sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août)** : Les températures opératives légèrement élevées (28,24°C à 31,34°C) suggèrent un besoin de climatisation pour assurer le confort thermique, le mois aout correspondent à la période de vacances
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre)** : Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (20,30°C et 27,67°C).

## Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air)

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,02	17,81	19,35	20,97	23,23	25,76	27,67	30,10	25,36	23,10	19,85	17,88
Température radiante (°C)	17,33	18,25	19,92	21,76	24,26	27,19	29,17	31,05	26,42	23,96	20,29	18,22
Température opérative (°C)	17,17	18,03	19,63	21,36	23,75	26,48	28,42	30,57	25,89	23,53	20,07	18,05
Température Sèche Air Extérieur (°C)	10,10	10,69	13,39	15,53	18,93	22,95	26,63	26,94	23,60	20,49	14,73	11,52
Humidité relative (%)	55,44	52,59	54,31	55,55	55,83	55,35	56,01	55,48	61,43	59,94	58,30	56,48

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 44. Les résultats de Simulation - Scénario 2 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (18,03°C à 18,05°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (19,63°C à 23,75°C) ont été maintenues, assurant un confort thermique optimal sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives confortables (26,48°C à 28,42°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable, le mois août correspondent à la période de vacances
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (19,61°C à 23,77°C) ont été facilement maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

## Consommation d'énergie et l'émissions de GES

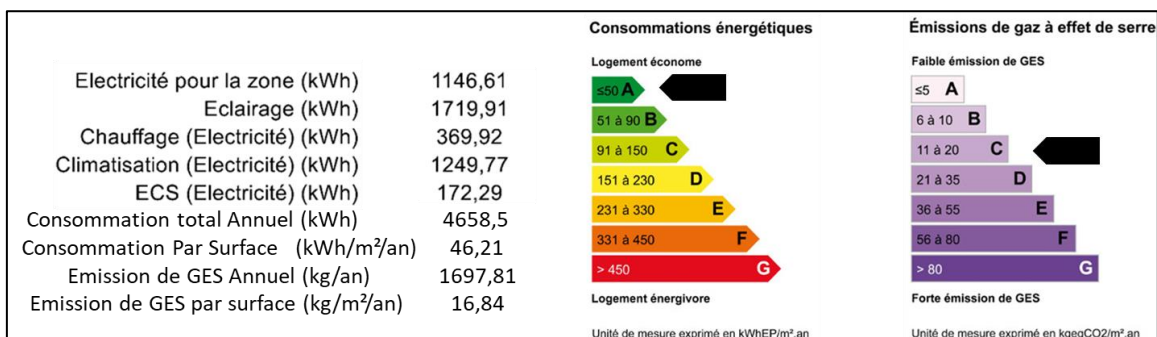


Figure 45. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traité par l'auteur

## Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale** : Le bâtiment se situe dans la classe **A** ( $\leq 50$  kWhEP/m<sup>2</sup>.an), ce qui indique une consommation énergétique très faible et donc une grande efficacité énergétique.

## Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES** : La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

### 1.2. Climat continentale (Tiaret) – Optimisation

Variabiles	Conception optimale
Fenêtre au mur %	30 %
Type de vitrage	Trp LoE (e5=.1) Clr 3mm/6mm Air
Type d'isolant	XPS Extrude polystyrène
L'épaisseur d'isolant	50 mm
Ombrage des fenêtres	0,5 m Overhang
CO2 (kg/an)	1697,81
Les heures d'inconfort (h /an)	947,5

Tableau 7. Les variable de la conception - climat Continental (Tiaret) source:designBuilder traite par l'auteur

#### 1.2.1. Usage du bâtiment – espace éducatif

##### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	15,33	16,24	18,89	20,22	23,53	27,42	30,98	30,34	26,08	22,89	17,88	16,00
Température radiante (°C)	15,60	16,60	19,25	20,97	24,24	28,27	31,55	30,84	26,63	23,40	18,42	16,32
Température opérative (°C)	15,47	16,42	19,07	20,60	23,89	27,84	31,27	30,59	26,35	23,14	18,15	16,16
Température Sèche Air Extérieur (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	52,67	51,54	52,27	46,05	44,01	33,56	29,82	32,67	45,43	50,38	52,25	55,62

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 46. Les résultat de Simulation -Senario1 Source:designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre)** : Les températures opératives sont légèrement basses (15,47°C à 16,16°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai)** : Les températures opératives augmentent progressivement, atteignant des niveaux confortables (19,07°C à 23,89°C) sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.

- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (27,84°C à 31,27°C) correspondent à la période de vacances scolaires, pendant laquelle le bâtiment n'est pas utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (18,15°C et 26,35°C).

### **Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air)**

Mois	2002	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,81	18,29	20,07	20,53	22,42	27,52	31,00	30,34	23,32	21,63	19,43	17,95
Température radiante (°C)	17,33	18,00	20,07	21,15	23,43	28,31	31,56	30,84	24,58	22,47	19,46	17,66
Température opérative (°C)	17,57	18,14	20,07	20,84	22,92	27,92	31,28	30,59	23,95	22,05	19,44	17,80
Température Sèche Air Extérieur (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	46,01	45,76	48,73	48,09	48,47	33,31	29,76	32,67	51,42	51,85	47,14	49,52

Zone de confort

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de Sous chauffe

Figure 47. Les résultat de Simulation -Senario2 Source:designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (18,14°C à 19,27°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (20,07°C à 22,92°C) ont été maintenues, assurant un confort thermique optimal sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (27,92°C à 31,28°C) ne sont pas une préoccupation majeure, car cette période correspond aux vacances scolaires. La pompe à chaleur peut être utilisée sporadiquement si le bâtiment est utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (19,44°C à 23,95°C) ont été facilement maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

## Consommation d'énergie et l'émissions de GES

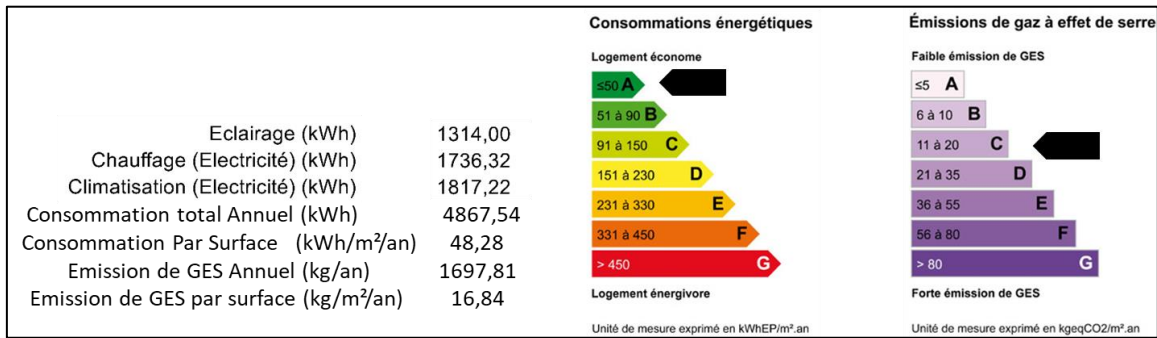


Figure 48. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traite par l'auteur

### Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale** : Le bâtiment se situe dans la classe **A** ( $\leq 50$  kWhEP/m².an), ce qui indique une consommation énergétique très faible et donc une grande efficacité énergétique.

### Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES** : La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m².an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

#### 1.2.2. Usage du bâtiment – espace résidentiel

##### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	12,40	13,43	15,93	17,94	21,10	25,75	29,60	28,64	23,76	20,37	15,83	13,46
Température radiante (°C)	13,23	14,33	16,89	19,02	22,12	26,60	30,02	29,10	24,64	21,33	16,69	14,24
Température opérative (°C)	12,81	13,88	16,41	18,48	21,61	26,18	29,81	28,87	24,20	20,85	16,26	13,85
Température Sèche Air Extérieur (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	50,48	48,78	48,41	47,58	45,68	37,41	33,12	36,65	47,39	50,11	52,46	53,89

Zone de confort
  Zone de sur chauffe
  Zone de Sous chauffe

Figure 49. Les résultat de Simulation -Senario1 Source: designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre)** : Les températures opératives sont basses (12,81°C à 13,88°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai)** : Les températures opératives sont légèrement basses (16,41°C à 21,61°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.

- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives légèrement élevées (26,18°C à 29,81°C) suggèrent un besoin de climatisation pour assurer le confort thermique.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (20,85°C et 24,2°C).

### Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe à chaleur (air/air)

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,58	17,76	18,43	19,30	20,73	23,51	25,25	24,92	22,61	20,75	18,50	17,76
Température radiante (°C)	16,83	17,27	18,53	19,90	21,84	24,88	26,70	26,23	23,75	21,54	18,46	17,20
Température opérative (°C)	17,21	17,52	18,48	19,60	21,29	24,19	25,98	25,58	23,18	21,15	18,48	17,48
Température Sèche Air Extérieur (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	35,91	36,66	41,04	43,55	46,57	42,17	41,54	44,23	49,87	48,63	43,99	40,62

Zone de confort
  Zone de sur chauffe
  Zone de Sous chauffe

Figure 50. Les résultats de Simulation - Scénario 2 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (17,21°C à 17,52°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (18,48°C à 21,29°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives confortables (24,19°C à 25,98°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (18,48°C à 23,18°C) ont été facilement maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.



## Consommation d'énergie et l'émissions de GES

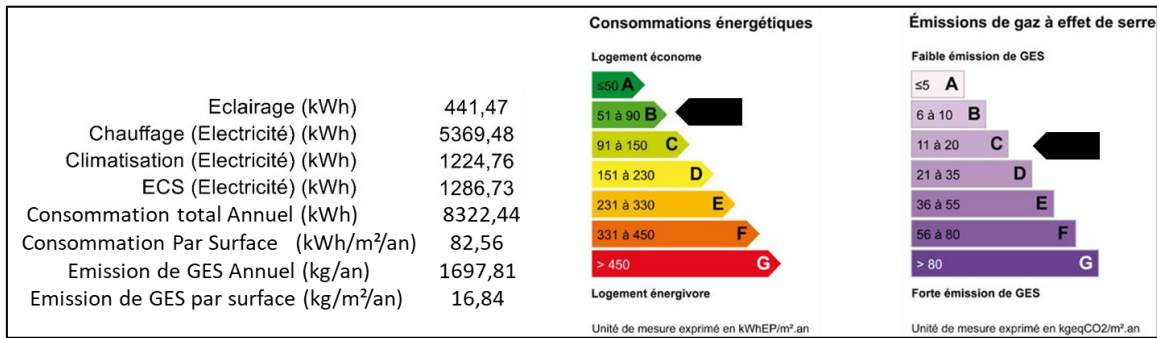


Figure 51. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traite par l'auteur

### Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale** : Le bâtiment se situe dans la classe **B** (51 à 90 kWhEP/m².an), ce qui indique une consommation énergétique faible et donc une grande efficacité énergétique.

### Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES** : La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m².an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

### 1.2.3. Usage du bâtiment – espace bureau/workshop Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	13,82	14,87	17,43	19,46	22,80	27,59	31,25	30,35	25,51	21,81	17,03	14,67
Température radiante (°C)	14,37	15,46	18,08	20,26	23,58	28,27	31,58	31,05	26,13	22,54	17,64	15,22
Température opérative (°C)	14,09	15,16	17,75	19,86	23,19	27,93	31,42	30,70	25,82	22,17	17,33	14,94
Température Sèche Air Extérieur (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	48,13	46,77	45,69	44,36	41,85	33,57	29,91	32,53	42,90	46,44	50,10	51,68

Vacances  
 Zone de confort  
 Zone de sur chauffe  
 Zone de Sous chauffe

Figure 52. Les résultat de Simulation –Scenario1 Source: designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre)** : Les températures opératives sont légèrement basses (14,09°C à 15,16°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai)** : Les températures opératives augmentent progressivement, atteignant des niveaux confortables (17,75°C à 23,19°C) sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.

- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives légèrement élevées (27,93°C à 31,42°C) suggèrent un besoin de climatisation pour assurer le confort thermique, le mois aout correspondent à la période de vacances
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (17,33°C et 25,82°C).

### **Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air)**

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,34	17,84	19,32	20,84	22,87	25,45	27,49	30,30	23,80	22,03	19,56	17,66
Température radiante (°C)	16,75	17,43	19,31	21,14	23,50	26,73	28,89	30,79	24,71	22,55	19,28	17,22
Température opérative (°C)	17,04	17,63	19,32	20,99	23,18	26,09	28,19	30,54	24,25	22,29	19,42	17,44
Température Sèche Air Extérieur (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	38,01	38,33	40,62	40,64	41,59	36,90	35,99	32,79	47,16	45,96	42,23	42,24

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 53. Les résultat de Simulation -Senario2 Source:designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (17,04°C à 17,63°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (19,32°C à 23,18°C) ont été maintenues, assurant un confort thermique optimal sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives confortables (26,09°C à 28,19°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable, le mois aout correspondent à la période de vacances
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (19,61°C à 23,77°C) ont été facilement maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

## Consommation d'énergie et l'émissions de GES

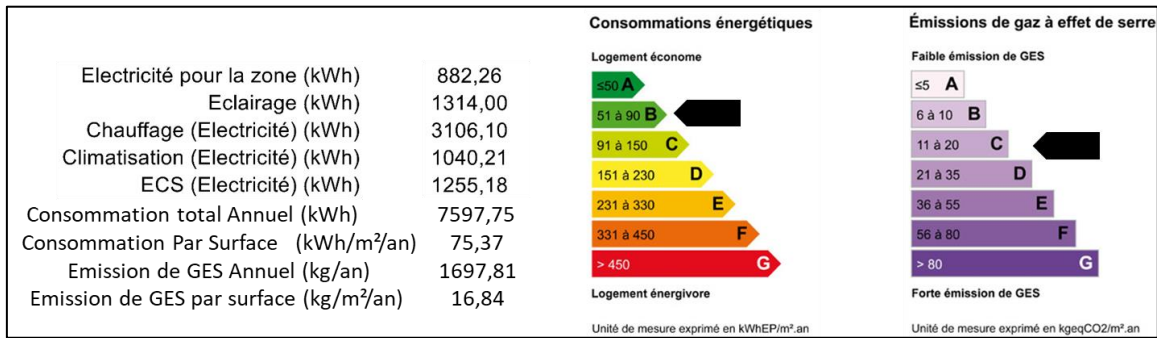


Figure 54. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traite par l'auteur

### Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale** : Le bâtiment se situe dans la classe **B** (51 à 90 kWhEP/m<sup>2</sup>.an), ce qui indique une consommation énergétique faible et donc une grande efficacité énergétique.

### Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES** : La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

### 1.3. Climat Saharienne (Adrar) – Optimisation

Variables	Conception optimale
Fenêtre au mur %	20 %
Type de vitrage	Trp Clr 3mm/13mm Air
Type d'isolant	EPS Expansé Polystyrène
L'épaisseur d'isolant	50 mm
Ombrage des fenêtres	0,5 m projection Louvre
CO2 (kg/an)	1697,81
Les heures d'inconfort (h /an)	1341

Figure 55. Les variable de la conception - climat Saharienne (Adrar) source: designBuilder traite par l'auteur

### 1.3.1. Usage du bâtiment – espace éducatif

#### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	19,15	21,14	24,88	27,67	31,49	33,60	36,36	35,61	33,29	28,93	22,87	19,74
Température radiante (°C)	19,20	21,15	24,80	27,52	31,04	33,32	35,90	35,16	32,80	28,59	23,01	19,85
Température opérative (°C)	19,17	21,15	24,84	27,60	31,26	33,46	36,13	35,38	33,04	28,76	22,94	19,79
Température Sèche Air Extérieur (°C)	12,72	15,96	21,22	25,49	30,97	34,82	38,48	37,65	33,33	27,43	18,79	13,94
Humidité relative (%)	35,09	30,44	30,81	21,70	30,07	12,68	12,23	13,27	39,04	38,09	31,23	38,20





	Vacances		Zone de sur chauffe
	Zone de confort		Zone de Sous chauffe

Figure 56. Les résultats de Simulation – Scénario 1 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives sont Confortables (19,17°C à 21,15°C) sans nécessiter de chauffage
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives augmentent progressivement, (24,84°C à 31,26°C) nécessiter de climatisation
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (33,46°C à 36,13°C) correspondent à la période de vacances scolaires, pendant laquelle le bâtiment n'est pas utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en novembre (33,04°C et 22,94°C).

#### Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe à chaleur (air/air)

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	19,32	21,24	24,92	24,31	26,63	33,56	36,36	35,61	27,90	24,99	22,89	19,87
Température radiante (°C)	19,29	21,19	24,81	25,29	27,80	33,28	35,90	35,16	29,13	25,97	22,99	19,91
Température opérative (°C)	19,31	21,21	24,86	24,80	27,22	33,42	36,13	35,38	28,52	25,48	22,94	19,89
Température Sèche Air Extérieur (°C)	12,72	15,96	21,22	25,49	30,97	34,82	38,48	37,65	33,33	27,43	18,79	13,94
Humidité relative (%)	34,77	30,26	30,97	28,03	28,79	12,70	12,23	13,27	34,84	39,13	31,20	38,13





	Vacances		Zone de sur chauffe
	Zone de confort		Zone de Sous chauffe

Figure 57. Les résultats de Simulation - Scénario 2 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives sont Confortables (19,31°C à 21,21°C) sans nécessiter de chauffage
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (24,86°C à 27,22°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.

- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (33,42°C à 36,13°C) ne sont pas une préoccupation majeure, car cette période correspond aux vacances scolaires. La pompe à chaleur peut être utilisée sporadiquement si le bâtiment est utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (28°C à 22,94°C) ont été maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

### Consommation d'énergie et l'émissions de GES

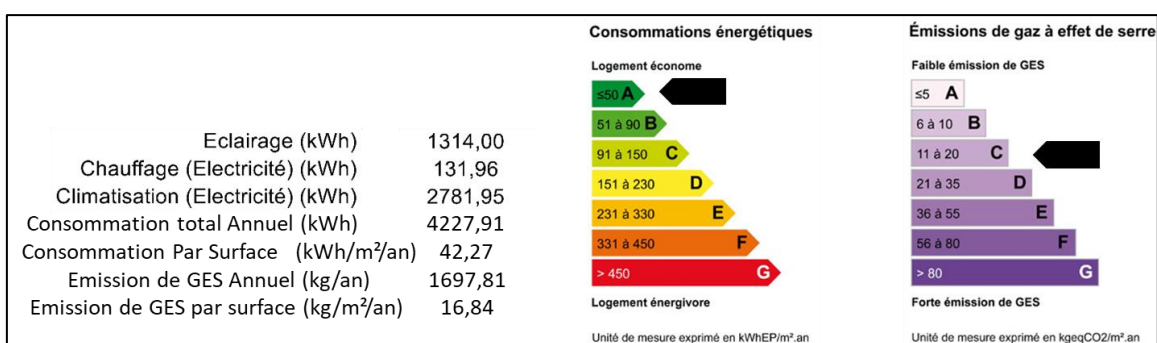


Figure 58. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traite par l'auteur

### Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale :** Le bâtiment se situe dans la classe **A** ( $\leq 50$  kWhEP/m<sup>2</sup>.an), ce qui indique une consommation énergétique très faible et donc une grande efficacité énergétique.

### Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES :** La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

### 1.3.2. Usage du bâtiment – espace résidentiel

#### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	16,39	18,46	22,29	25,75	29,89	33,07	35,83	35,07	32,02	26,99	20,57	17,24
Température radiante (°C)	16,87	18,85	22,53	25,75	29,54	32,56	35,13	34,39	31,58	26,83	20,94	17,69
Température opérative (°C)	16,63	18,66	22,41	25,75	29,71	32,82	35,48	34,73	31,80	26,91	20,76	17,47
Température Sèche Air Extérieur (°C)	12,72	15,96	21,22	25,49	30,97	34,82	38,48	37,65	33,33	27,43	18,79	13,94
Humidité relative (%)	28,20	24,18	20,28	16,22	15,23	14,34	14,17	15,35	22,97	28,76	31,75	33,74

Zone de confort
  Zone de sur chauffe
  Zone de Sous chauffe

Figure 59. Les résultats de Simulation – Scénario 1 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives sont légèrement basses (16,63°C à 18,66°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives augmentent progressivement, (22,41°C à 29,71°C) nécessiter de climatisation
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (32,82°C à 35,48°C) suggèrent un besoin de climatisation pour assurer le confort thermique.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (31,80°C et 20,76°C).

#### Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe à chaleur (air/air)

Mois	2002	Feb	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,40	18,73	21,17	23,07	25,00	26,33	27,52	27,28	26,07	23,91	20,19	17,89
Température radiante (°C)	17,52	19,04	21,77	23,87	26,02	27,61	28,97	28,62	27,22	24,64	20,68	18,11
Température opérative (°C)	17,46	18,88	21,47	23,47	25,51	26,97	28,24	27,95	26,64	24,28	20,43	18,00
Température Sèche Air Extérieur (°C)	12,72	15,96	21,22	25,49	30,97	34,82	38,48	37,65	33,33	27,43	18,79	13,94
Humidité relative (%)	26,66	23,94	21,80	19,31	20,82	22,11	23,94	24,49	31,83	34,29	32,57	32,57

Zone de confort
  Zone de sur chauffe
  Zone de Sous chauffe

Figure 60. Les résultats de Simulation - Scénario 2 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (17,46°C à 18°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (21,47°C à 21,51°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.

- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives confortables (26°C à 27°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (26°C à 20°C) ont été maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

## Consommation d'énergie et l'émissions de GES

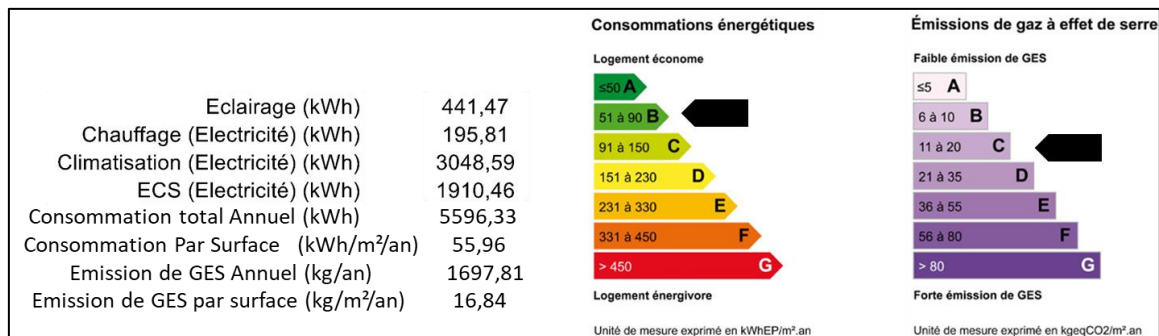


Figure 61. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traite par l'auteur

## Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale :** Le bâtiment se situe dans la classe **B** (51 à 90 kWhEP/m<sup>2</sup>.an), ce qui indique une consommation énergétique faible et donc une grande efficacité énergétique.

## Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES :** La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

### 1.3.3. Usage du bâtiment – espace bureau/workshop

#### Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,64	19,88	23,97	27,26	31,39	34,60	37,27	35,61	33,43	28,51	21,91	18,41
Température radiante (°C)	17,84	19,99	23,93	27,12	30,91	33,95	36,47	35,16	32,89	28,18	22,09	18,63
Température opérative (°C)	17,74	19,93	23,95	27,19	31,15	34,27	36,87	35,39	33,16	28,35	22,00	18,52
Température Sèche Air Extérieur (°C)	12,72	15,96	21,22	25,49	30,97	34,82	38,48	37,65	33,33	27,43	18,79	13,94
Humidité relative (%)	28,11	23,79	20,29	15,62	15,76	15,38	14,96	13,28	22,70	28,07	29,96	32,98

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 62. Les résultat de Simulation –Senario1 Source:designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives sont légèrement basses (17°C à 18°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives augmentent progressivement, (23°C à 31°C) nécessiter de climatisation
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives légèrement élevées (34°C à 36°C) suggèrent un besoin de climatisation pour assurer le confort thermique,
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en novembre (33°C et 22°C).

#### Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air)

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,83	19,46	22,73	23,05	25,32	26,92	29,04	35,06	26,62	23,72	21,13	18,39
Température radiante (°C)	17,94	19,57	22,85	24,06	26,53	28,32	30,37	34,36	27,90	24,75	21,34	18,53
Température opérative (°C)	17,88	19,52	22,79	23,56	25,93	27,62	29,71	34,71	27,26	24,24	21,23	18,46
Température Sèche Air Extérieur (°C)	12,72	15,96	21,22	25,49	30,97	34,82	38,48	37,65	33,33	27,43	18,79	13,94
Humidité relative (%)	27,49	24,19	21,11	20,64	21,81	22,12	22,37	18,19	33,49	37,03	31,79	33,02

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 63. Les résultat de Simulation -Senario2 Source:designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (17°C à 18°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (22°C à 25°C) ont été maintenues, assurant un confort thermique optimal sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.



- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives confortables (27°C à 28°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable, le mois aout correspondent à la période de vacances
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (27°C à 21°C) ont été maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

### Consommation d'énergie et l'émissions de GES

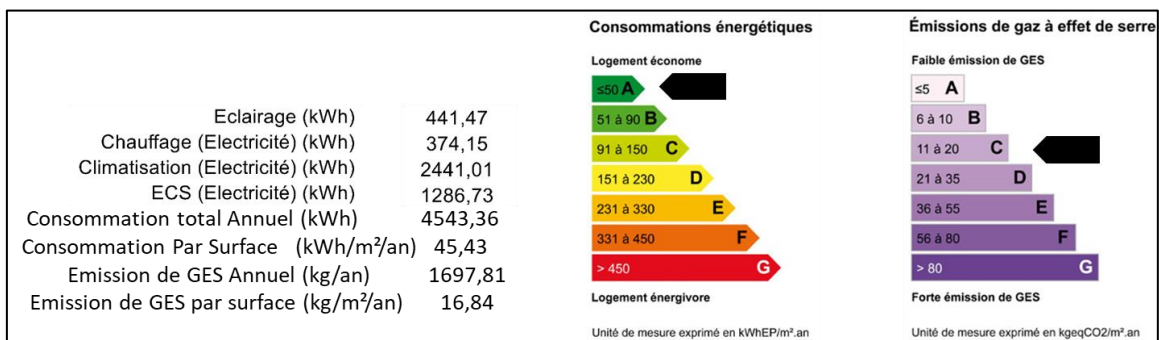


Figure 64. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traite par l'auteur

### Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale :** Le bâtiment se situe dans la classe **A** ( $\leq 50$  kWhEP/m<sup>2</sup>.an), ce qui indique une consommation énergétique très faible et donc une grande efficacité énergétique.

### Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES :** La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre

## 2. Résultat et interprétation (Le projet : école primaire)

L'étude théorique et la simulation thermique dynamique de l'école, effectuées à l'aide du logiciel DesignBuilder, ont été conduites dans le but de proposer la construction d'un nouveau bâtiment à haute efficacité énergétique. Ce projet utilise notre système de construction modulaire pliable.

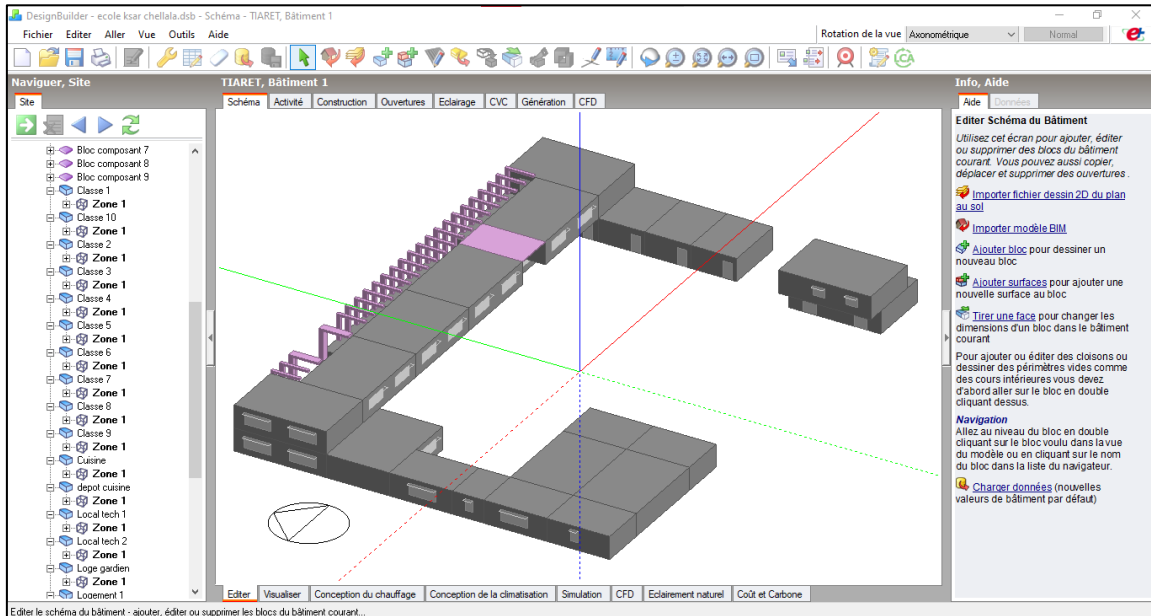


Figure 65. représentant la modélisation du projet dans logiciel DesignBuilder Source: DesignBuilder traite par l'auteur

### 2.1. Les paramètres d'optimisation du Climat continentale (Tiaret)

Variables	Conception optimale
Fenêtre au mur %	30 %
Type de vitrage	Trp LoE (e5=.1) Clr 3mm/6mm Air
Type d'isolant	XPS Extrude polystyrène
L'épaisseur d'isolant	50 mm
Ombrage des fenêtres	0,5 m Overhang

Tableau 8. Les variable de la conception - climat Continental (Tiaret)-Projet école primaire source: designBuilder traite par l'auteur

### 2.2. Scénario 1 : Utilisation des paramètres de l'optimisation

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	14,83	15,73	18,22	19,37	22,97	25,91	29,77	29,13	25,84	22,62	17,90	15,82
Température radiante (°C)	14,70	15,65	18,14	19,58	23,28	26,34	30,08	29,42	26,11	22,84	18,02	15,78
Température opérative (°C)	14,77	15,69	18,18	19,48	23,12	26,13	29,92	29,28	25,98	22,73	17,96	15,80
Température Sèche Air Extérieure (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	55,50	54,44	55,48	49,01	45,27	35,87	31,18	34,02	45,83	50,91	53,85	58,13

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black;"></span> Vacances	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #ffcc99; border: 1px solid black;"></span> Zone de sur chauffe
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black;"></span> Zone de confort	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: #bbdefb; border: 1px solid black;"></span> Zone de Sous chauffe

Figure 66. Les résultat de Simulation -Senario1 Source: designBuilder traite par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives sont légèrement basses (14°C à 15°C), indiquant un besoin potentiel de chauffage pour maintenir le confort thermique.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives augmentent progressivement, atteignant des niveaux confortables (18°C à 23°C) sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (26°C à 29°C) correspondent à la période de vacances scolaires, pendant laquelle le bâtiment n'est pas utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives diminuent, atteignant des niveaux modérément confortables en octobre et novembre (25°C et 18°C).

### 2.3. Scénario 2 : Utilisation des paramètres de l'optimisation + Pompe a chaleur (air/air)

Mois	2002	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Température d'air (°C)	17,43	17,80	19,42	19,92	22,03	26,02	29,76	29,12	23,12	21,52	19,34	17,62
Température radiante (°C)	16,66	17,19	19,06	20,03	22,62	26,41	30,07	29,42	24,10	22,06	19,07	17,10
Température opérative (°C)	17,05	17,50	19,24	19,97	22,33	26,21	29,92	29,27	23,61	21,79	19,21	17,36
Température Sèche Air Extérieur (°C)	5,77	6,62	9,86	12,70	17,46	23,20	27,98	27,08	21,45	17,13	9,99	6,91
Humidité relative (%)	47,89	48,00	51,32	50,28	49,41	35,65	31,21	34,15	51,93	52,39	48,39	51,70

Vacances

Zone de sur chauffe

Zone de confort

Zone de Sous chauffe

Figure 67. Les résultats de Simulation - Scénario 2 Source: designBuilder traité par l'auteur

- **Hiver (Janvier, Février, Décembre) :** Les températures opératives confortables (17°C à 18°C) ont été ajustées pour atteindre des niveaux de confort optimaux grâce à la pompe à chaleur air/air, maintenant ainsi une température intérieure confortable.
- **Printemps (Mars, Avril, Mai) :** Les températures opératives confortables (19°C à 23°C) ont été maintenues, assurant un confort thermique optimal sans nécessiter de climatisation ou de chauffage excessif.
- **Été (Juin, Juillet, Août) :** Les températures opératives élevées (26°C à 29°C) ne sont pas une préoccupation majeure, car cette période correspond aux vacances scolaires. La pompe à chaleur peut être utilisée sporadiquement si le bâtiment est utilisé.
- **Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :** Les températures opératives modérées (23°C à 19°C) ont été facilement maintenues à des niveaux de confort grâce à la pompe à chaleur air/air.

## 2.4. Consommation d'énergie et l'émissions de GES

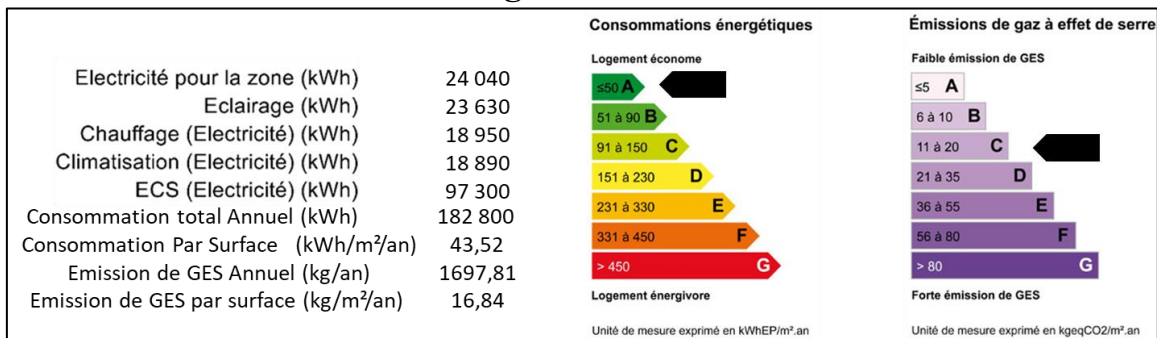


Figure 68. La consommation énergétique et les émissions GES Source: designBuilder traite par l'auteur

### Classement de la Consommation Énergétique

- **Consommation Énergétique Globale** : Le bâtiment se situe dans la classe **A** ( $\leq 50$  kWhEP/m².an), ce qui indique une consommation énergétique très faible et donc une grande efficacité énergétique.

### Émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

- **Émissions de GES** : La classification des émissions de GES place le bâtiment dans la classe **C** (11 à 20 kgeqCO<sub>2</sub>/m².an), ce qui représente une émission modérée de gaz à effet de serre.

## Conclusion générale

Le système de Construction Modulaire Pliable est une méthode innovante qui utilise des modules préfabriqués pliables pour simplifier le processus de construction. Le projet consiste à construire une école primaire à haute efficacité énergétique en utilisant ce système. L'analyse climatique et bioclimatique a été réalisée pour optimiser la conception du bâtiment. Le logiciel de simulation DesignBuilder a été utilisé pour simuler les performances énergétiques du bâtiment.

L'étude comprend une modélisation 3D réaliste avec des outils de modélisation avancés pour la création de bâtiments éco-énergétiques. Une simulation thermique dynamique sera réalisée dans différentes zones climatiques en Algérie pour optimiser la conception des bâtiments en termes de consommation énergétique, confort et émissions de carbone.

L'optimisation sera effectuée en utilisant des algorithmes génétiques pour trouver les meilleures solutions de conception. Les principaux objectifs sont de minimiser la consommation énergétique, l'inconfort et les émissions de carbone, en prenant en compte des variables telles que le type de vitrage, l'isolant et l'ombrage des fenêtres.

L'optimisation des variables de conception pour différents types de bâtiments dans les climats méditerranéen, Saharienne et continental afin d'atteindre des niveaux de confort thermique optimaux tout en maintenant une faible consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre modérées.

Différents scénarios d'optimisation pour les espaces résidentiels, les bureaux/ateliers et les espaces éducatifs sont explorés, avec et sans utilisation de pompes à chaleur. L'étude souligne l'importance d'optimiser les variables de conception et d'utiliser des pompes à chaleur pour atteindre à la fois le confort thermique et l'efficacité énergétique dans les bâtiments de différentes régions climatiques.

Les résultats d'une étude théorique et d'une simulation thermique d'une école primaire de Tiaret avec deux scénarios d'optimisation de la consommation d'énergie sont présentés. Le scénario 1 Utilisation des paramètres de l'optimisation, tandis que le scénario 2 l'ajout d'une pompe à chaleur pour améliorer le confort thermique. Le bâtiment est classé en classe A pour la consommation d'énergie et en classe C pour les émissions de gaz à effet de serre. Dans l'ensemble, le bâtiment affiche des émissions de gaz à effet de serre modérées et une faible consommation d'énergie.

# **Sources bibliographiques**

### **Mémoire et thèse :**

- L'auteur: Meisam Kalantari - MASTER THESIS 2014 - Mémoire: Collapsible Home - School of Engineering in Jönköping University – Sweden
- PEDRO GABRIEL TAKAO ISHIRUGI - FEBRUARY 2023 - ANALYSIS OF MODULAR CONSTRUCTION TECHNIQUES ADVANTAGES AND DISADVANTAGES – MASTER OF CIVIL ENGINEERING – Porto University

### **Revue documents et article :**

- L'auteur : Hana Begić and Hrvoje Krstić - Case Study (2022) - Article: Possibilities of Using Prefabricated Modular Panels for Building NZEB Buildings in Earthquake-Affected Areas in Croatia - University of Osijek
- L'auteur : Mustafa Sakti Wala , Anisha Mire , Aman Chandrakar RSR Rungta College of Engineering and Technology, Bhilai, India - 2019 - Article: A Review on Glass Fibre Reinforced Concrete Used In Construction
- L'auteur : Structural Insulated Panels Association - Article: Structural Insulated Panels
- L'auteur : Muhammed İSKENDER, Bekir KARASU – Janvier 2018 – Article : Glass Fibre Reinforced Concrete (GFRC) - Anadolu University
- L'auteur : le Bureau Régional de l'UNISDR - Mars 2013 – Article : Pour une Algérie Résiliente

### **Applications et Software :**

- Météonorme.
- Climate consultant.
- Design Builder.
- Autocad
- Revit
- Sketchup
- Lumion 12

**Sites web :**

[www.energy.gov.dz](http://www.energy.gov.dz)

[www.cder.dz](http://www.cder.dz)

[www.acmepanel.com](http://www.acmepanel.com)

[www.batisim.net](http://www.batisim.net)